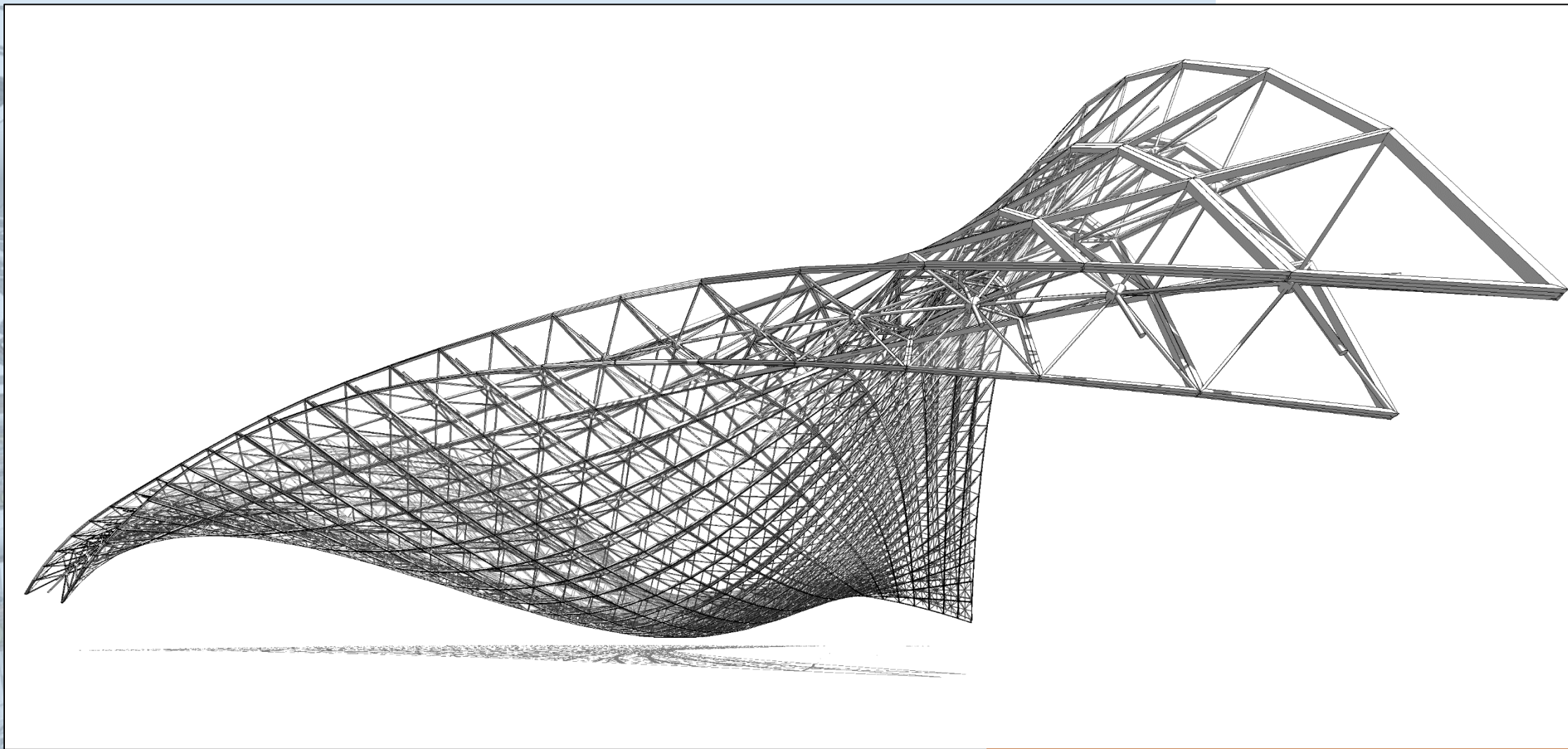




SPACE FRAME (STRUKTUR RANGKA RUANG)



DOSEN : AGUS JOHNSON, S.T., M.T

SISTEM STRUKTUR II

DEAN AGUNG WARDANA
160406001

FEBY NILA FITRI SIREGAR
160406013

KRISMI NANDA PUTRA
160406023

AINIL HAFIZHI NASUTION
160406034

COVER..... I

CONTENT..... II

PENGENALAN STRUKTUR SPACE-FRAME..... 1

 PENGENALAN UMUM..... 1

 DEFINISI SPACE-FRAME..... 2

 KONSEP DASAR SPACE FRAME..... 3

 KELEBIHAN DAN KEKURANGAN SPACE-FRAME..... 4

PRINSIP & MEKANISME KERJA SISTEM SPACE FRAME..... 5

 PRINSIP UMUM SPACE FRAME..... 5

 PRINSIP MEKANIK SPACE FRAME..... 8

 DOUBLE LAYER GRIDS DAN METODE DUKUNGAN STRUKTURAL..... 10

 SISTEM SAMBUNGAN SPACE-FRAME..... 13

 RAGAM BENTUK PENGEMBANGAN STRUKTUR SPACE FRAME..... 15

PENERAPAN SPACE FRAME DALAM KONSTRUKSI NYATA..... 18

BANGUNAN-BANGUNAN YANG MENERAPKAN STRUKTUR SPACE-FRAME..... 20

 HEYDAR ALIYEV..... 20

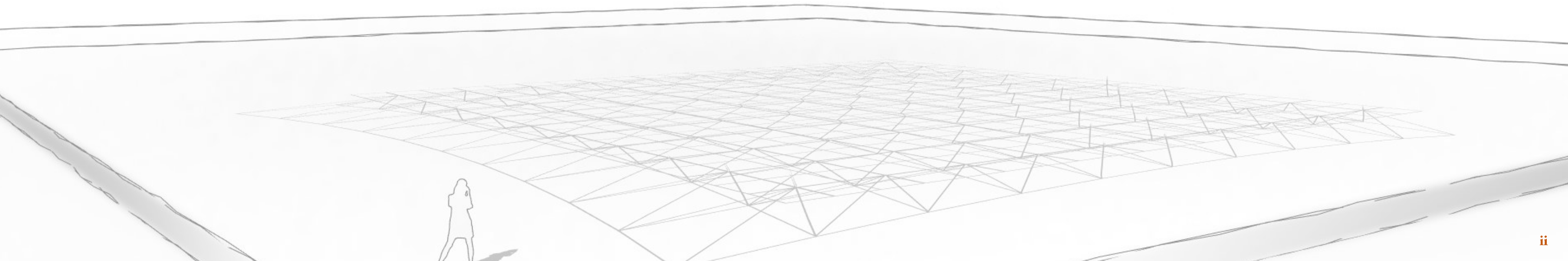
 STASIUN TGV..... 22

 RIVERSIDE MUSEUM..... 23

 OLD TRAFFOD STADIUM..... 24

 LONDON AQUATIC CENTER..... 25

REFERENSI..... 26



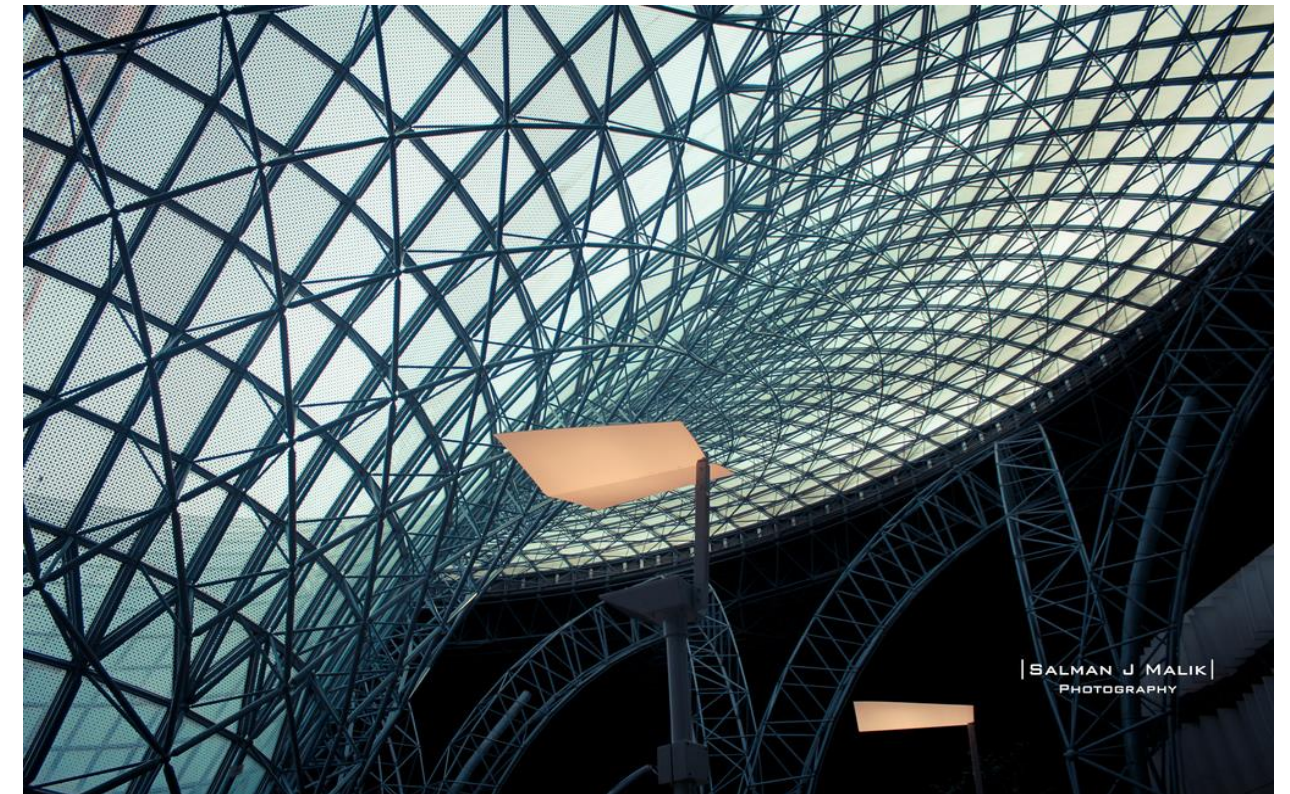
PENGENALAN UMUM

SUATU KETERTARIKAN YANG SANGAT MENINGKAT TERHADAP PENGGUNAAN *SPACE-FRAME* DISAKSIKAN SEBAGIAN BESAR DUNIA PADA MASA KINI. PENCARIAN TERHADAP BENTUK STRUKTUR YANG BARU UNTUK MENAMPUNG AREA-AREA TERHAMBAT YANG BESAR SUDAH MENJADI OBJEK UTAMA PARA ARSITEK DAN INSINYUR YANG BERKECIMPUNG DI DALAMNYA. DENGAN KEHADIRAN TEKNIK MEMBANGUN YANG BARU DAN MATERIAL KONSTRUKSI, SISTEM *SPACE-FRAME* SERING KALI MEMBERI SOLUSI TEPAT DAN MEMUASKAN KEBUTUHAN AKAN KERINGANAN BEBAN, NILAI EKONOMIS, DAN SISTEM KONSTRUKSI YANG CEPAT. KEMAJUAN SIGNIFIKAN TELAH DICAPAI DALAM PROSES PENGEMBANGAN SISTEM *SPACE-FRAME*. BANYAK PROGRAM PENELITIAN TEORITIS DAN EKSPERIMENTAL DILAKUKAN OLEH BERBAGAI UNIVERSITAS DAN INSTITUSI PENELITIAN DI BERBAGAI NEGARA. HASILNYA, INFORMASI YANG BERNILAI TINGGI

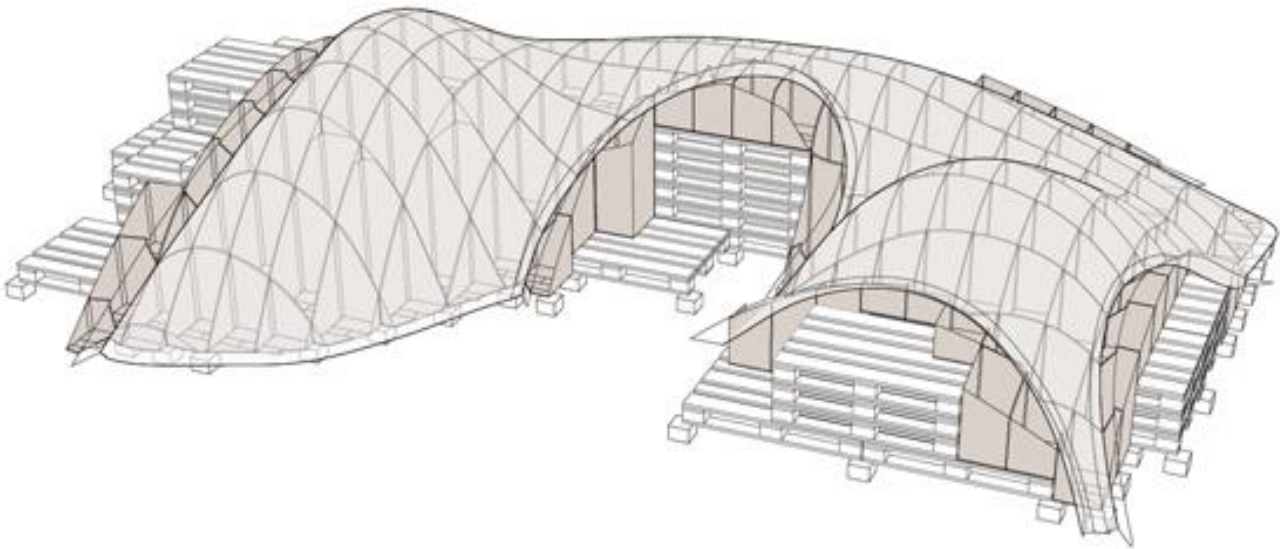
BEBERAPA FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP CEPATNYA PROSES PERKEMBANGAN TERHADAP PENERAPAN SISTEM *SPACE-FRAME* DAPAT DIJELASKAN SEBAGAI BERIKUT. PERTAMA, PENELUSURAN YANG DILAKUKAN UNTUK RUANG INDOOR YANG BESAR SUDAH SELALU MENJADI FOKUS DARI AKTIVITAS MANUSIA. SEBAGAI KONSEKUENSINYA, TURNAMEN/KOMPETISI OLAHRAGA, PERTUNJUKKAN/PENTAS BUDAYA, PERKUMPULAN MASSA (MASYARAKAT), DAN PAMERAN DAPAT DISELENGGARAKAN DI DALAM SATU ATAP (SECARA BERSAMAAN DALAM SUATU TATA MASSA). SISTEM PRODUKSI MODERN DAN KEBUTUHAN OPERASIONAL YANG LEBIH BESAR JUGA MEMBUAT TUNTUTAN UNTUK RUANG YANG LEBIH LUAS DENGAN SUATU CAMPUR TANGAN MINIMUM DARI DUKUNGAN-DUKUNGAN YANG BERSIFAT INTERNAL. SISTEM *SPACE-FRAME* MENYEDIKAN KEUNTUNGAN BAHWA RUANG INTERIOR DAPAT DIGUNAKAN DALAM BERBAGAI CARA DAN KEMUDIAN BETUL-BETUL DIBUAT SESUAI UNTUK DISEBARLUASKAN DAN HASIL YANG BERKEUNTUNGAN BESAR DIMASUKKAN KE DALAM TAHAP PERCOBAAN.

SPACE-FRAME TIDAK MENENTUKAN SECARA BESAR DAN STATIS SERTA ANALISISNYA MENGANTAR PADA PERHITUNGAN-PERHITUNGAN YANG SANGAT MEMBOSANKAN. TINGKAT KESULITAN ANALISIS YANG RUMIT DARI SEMACAM SISTEM YANG DIFUNGSIKAN UNTUK PENGGUNAANNYA YANG TERBATAS. PENGENALAN AKAN PENGGUNAAN KOMPUTER MENGUBAH POLA ANALISIS SISTEM *SPACE-FRAME* SECARA RADIKAL. DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM, SANGAT MUDAH MENGANALISIS STRUKTUR YANG SANGAT KOMPLEKS SECARA CEPAT DAN AKURAT.

AKHIRNYA, SISTEM *SPACE-FRAME* MEMILIKI MASALAH DALAM MENGHUBUNGKAN BANYAK BATANG (MEMBER) (BIASANYA SAMPAI 20) DALAM RUANG/TEMPAT MELALUI SUDUT BERBEDA PADA SATU TITIK. MUNCULNYA BEBERAPA METODE PENGHUBUNG DARI SISTEM-SISTEM KEPEMILIKAN TELAH MEMBUAT BANYAK PENINGKATAN DALAM PENERAPAN KONSTRUKSI *SPACE-FRAME*, YANG MEMBERI KESEDERHANAAN DAN EFISIENSI DALAM MENGHUBUNGKAN BATANG-BATANG. UNTUK MENYESUAIKAN TOLERANSI YANG DIBUTUHKAN DALAM SISTEM SAMBUNGAN (*JOINTING SYSTEM*) DAPAT DIPEROLEH DENGAN METODE PENGGUNAAN MATERIAL TERFABRIKASI (*FABRICATED MATERIAL*).



DEFINISI SPACE FRAME

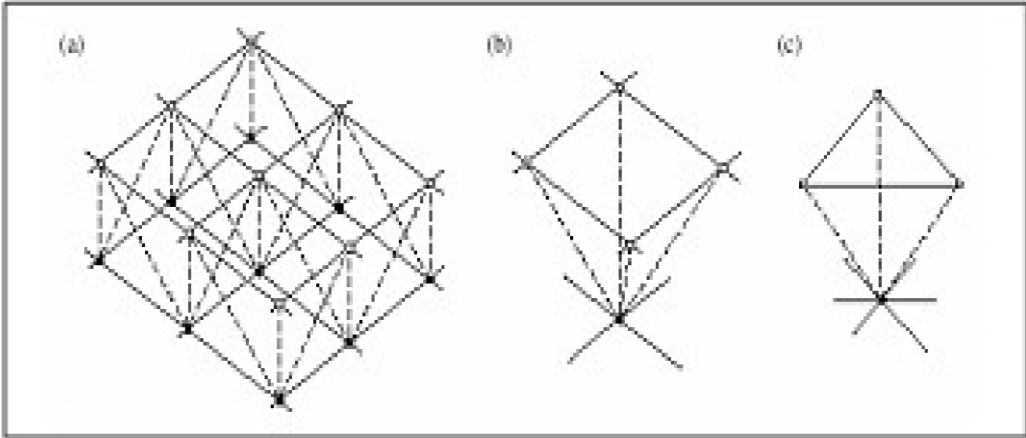


SEBUAH KELOMPOK KERJA YANG BERGELUT DALAM BIDANG STRUKTUR BENTANGAN DARI SUATU ASOSIASI INTERNASIONAL, IASS MENGATAKAN : “*SPACEFRAME* ADALAH SISTEM STRUKTUR YANG MEMPERTEMUKAN ELEMEN-ELEMEN LINEAR SECARA TERORGANISIR SEHINGGA GAYA-GAYA DIALIRKAN DENGAN PRINSIP TIGA DIMENSI.” MENURUTNYA, “DALAM BEBERAPA KASUS, ELEMEN YANG BERPERAN BIASANYA BERUPA ELEMEN 2 DIMENSI SEHINGGA SECARA MAKRO, *SPACE-FRAME* DAPAT MENGAMBIL BENTUK YANG BETUL-BETUL DATAR ATAUPUN BENTUK YANG PUNYA KELENGKUNGAN.”

DARI DEFINISI TADI, DAPAT KITA SADARI BAHWA SISTEM STRUKTUR TERGOLONG KE DALAM SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME* DIDASARKAN PADA SIFAT STRUKTUR YANG BERKISI-KISI. SEHINGGA, ASCE TASK COMITEE MENYIMPULKAN BAHWA, “SUATU STRUKTUR YANG BERIKISI-KISI ADALAH SISTEM STRUKTUR DENGAN BENTUK JARINGAN YANG TERSUSUN ATAS BERBAGAI ELEMEN (SEPERTI YANG DIBUAT BERLAWANAN DENGAN PERMUKAAN YANG BERKESINAMBUNGAN).” SETIAP BAGIAN (POTONGAN) DENGAN SITEM *ROLL*, SISTEM TEKAN, ATAUPUN SISTEM FABRIKASI MELIPUTI SELURUH ELEMEN BATANG (*MEMBER*). KARAKTERISTIK LAIN DARI STRUKTUR YANG BERKISI-KISI ADALAH MEKANISME PENYALURAN BEBANNYA MEMANG ALAMI TIGA DIMENSI.

ACSE JUGA MENGGOLONGKAN KARAKTERISTIK TIGA-DIMENSI TERMASUK PERMUKAAN DATAR YANG PEMBEBANANNYA TEGAK LURUS TERHADAP BIDANG TERMASUK PERMUKAAN YANG MELENGKUNG. PERNYATAAN INI JUGA MENGECEUALIKAN SISTEM-SISTEM STRUKTUR SEPERTI SISTEM *TRUSS-FRAME* BIASA ATAU SISTEM RANGKA BANGUNAN (*BUILDING FRAME*), YANG KIRA-KIRA DAPAT DIBAGI KE DALAM BEBERAPA JENIS RANGKA PLANAR DI MANA PEMBEBANAN TERDAPAT DALAM BIDANG YANG TERBENTUK DARI SISTEM RANGKA TERSEBUT. SEHINGGA, DALAM HAL INI SISTEM RANGKA RUANG (*SPACE-FRAME*) DAN STRUKTUR BERKISI-KISI (*LATTICED STRUCTURE*) MEMILIKI KEMIRIPAN YANG BISA DIPANDANG ‘SAMA’.

SELAIN ITU, ADA ISTILAH SERUPA YANG SERING MUNCUL DALAM REFERENSI YAITU ‘*SPACE-TRUSS*’. DILIHAT DARI SEGI ANALISIS STRUKTURAL, *SPACE-FRAME* DIANALISA MELALUI **ASUMSI PADA SAMBUNGAN YANG KAKU YANG MENYEBABKAN TORSI INTERNAL DAN MOMEN DALAM BATANG-BATANGNYA**, SEDANGKAN *SPACE-TRUSS* DIASUMSIKAN SEBAGAI **SAMBUNGAN ENGSEL (BERSENDI) SEHINGGA TIDAK MEMILIKI MOMEN PADA BATANG-BATANG INTERNALNYA**. MEMILIH SISTEM *SPACE-FRAME* ATAU *SPACE-TRUSS* BERGANTUNG PADA DETAIL SISTEM SAMBUNGAN. NAMUN, DALAM PEMBELAJARAN, PRINSIP PENGGUNAAN SAMBUNGAN RIGID ATAU SENDI TIDAKLAH TETAP. MISALNYA SUATU *UPPER STRUCTURE* BANGUNAN MENGGUNAKAN PERMUKAAN LENGKUNG DENGAN PRINSIP *SINGLE LAYER* YANG SITEM RANGKANYA DAPAT MENGGUNAKAN KEDUA JENIS SAMBUNGAN (SAMBUNGAN KAKU DAN SENDI). SEHINGGA, PEMILIHAN SISTEM YANG DITERAPKAN DAPAT BERUPA *SPACE-FRAME* ATAUPUN *SPACE-TRUSS*.



Gambar 1. Elemen Dasar Pembentuk Sistem Rangka Ruang

SISTEM RANGKA RUANG DIKEMBANGKAN DARI SYSTEM STRUKTUR RANGKA BATANG DENGAN PENAMBAHAN RANGKA BATANG KEARAH TIGA DIMENSINYA. STRUKTUR RANGKA RUANG ADALAH KOMPOSISI DARI BATANG-BATANG YANG MASING-MASING BERDIRI SENDIRI, MEMIKUL GAYA TEKAN ATAU GAYA TARIK YANG SENTRIES DAN DIKAITKAN SATU SAMA LAIN DENGAN SYSTEM TIGA DIMENSI ATAU RUANG. BENTUK RANGKA RUANG DIKEMBANGKAN DARI POLA GRID DUA LAPIS (DOUBEL-LAYER GRIDS), DENGAN BATANG---BATANG YANG MENGHUBUNGKAN TITIK-TITIK GRID SECARA TIGA DIMENSIONAL. ELEMEN DASAR PEMBENTUK STRUKTUR RANGKA INI ADALAH:

1. RANGKA BATANG BIDANG
2. PIRAMID DENGAN DASAR SEGIEMPAT MEMBENTUK OKTAHEDRON
3. PIRAMID DENGAN DASAR SEGITIGA MEMBENTUK TETRAHEDRON

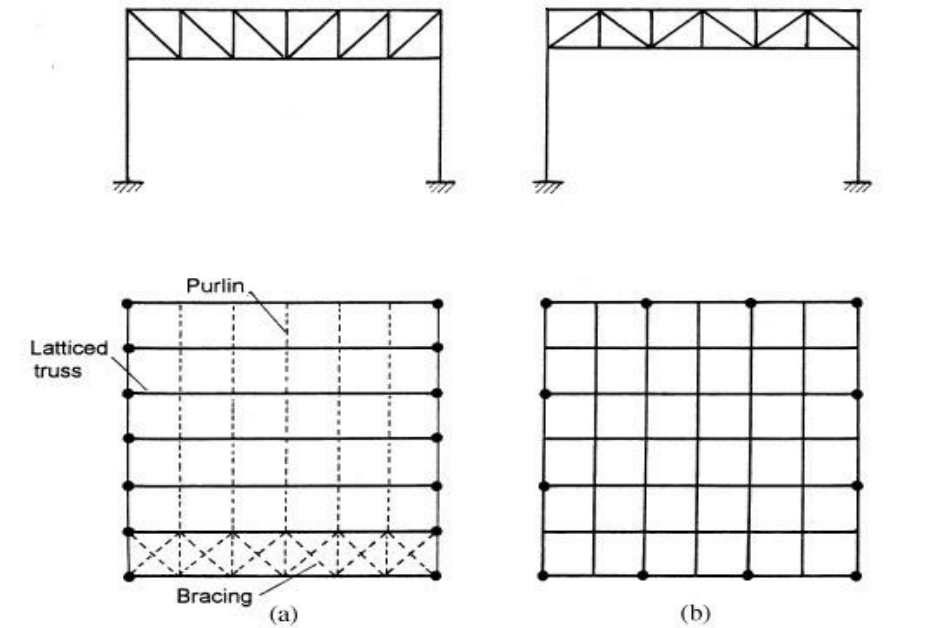
KONSEP DASAR SPACE-FRAME

PERMUKAAN BENTANGAN YANG DIBENTUK OLEH STRUKTUR *SPACE-FRAME* DAPAT MELENGKUNG ATAUPUN LURUS, MESKIPUN MELIHAT MATERIAL DAN KESAN STRUKTUR *SPACE-FRAME* TERKESAN TERBILANG KAKU. BENTUK STRUKTUR *SPACE-FRAME* YANG PALING AWAL DAN PALING MENDASAR ADALAH *SINGLE LAYER SPACE-FRAME* (*SPACE-FRAME* DENGAN SATU LAPIS PERMUKAAN). DENGAN DITAMBAH GRID-GRID SECARA LEBIH LANJUT, *SINGLE LAYER GRID* TERBENTUK. KARAKTERISTIK UTAMA DARI KONSTRUKSI GRID SECARA KESELURUHAN LANGSUNG MENYEBARKAN BEBAN SEBAGAIMANA BERLAWANAN DENGAN SISTEM TRANSFER LINEAR BEBAN DALAM SEBUAH SISTEM FRAME PADA UMUMNYA. SEJAK SEMACAM TRANSFER BEBAN UMUMNYA DIKENDALIKAN, UNTUK BENTANGAN YANG LEBIH BESAR, PENGENDALIAN KEKAKUAN DITINGKATKAN LEBIH EFISIEN DENGAN DIKEMBANGKAN MENJADI *DOUBLE LAYER SPACE-FRAME*. MEKANISME TRANSFER BEBAN DARI *SPACE-FRAME* YANG MELENGKUNG SECARA ESENSIAL BERBEDA DARI SISTEM SISTEM GRID YANG MANA MERIPAKAN MEMBRAN UTAMA. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR 1.3.1.

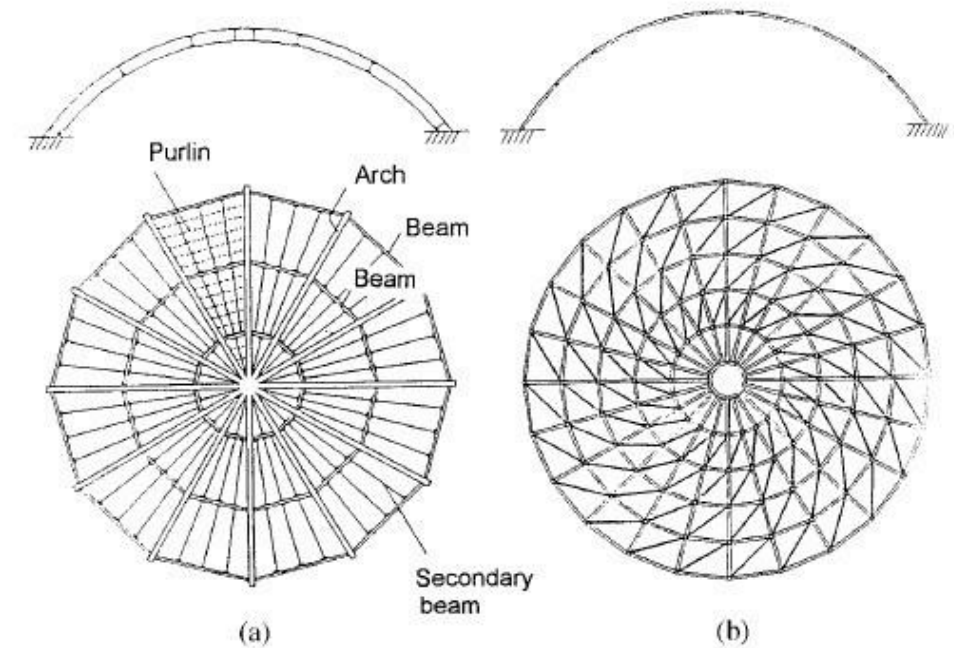
PADA GAMBAR DI ATAS, GAMBAR A (GAMBAR 1.3.1A) MERUPAKAN STRUKTUR PLANAR BERKISI-KISI (*PLANAR LATTICED STRUCTURE*). INTEGRITAS KERJA STRUKTUR INI, DIDUKUNG OLEH PERKUATAN LURUS (*PURLIN*) DAN PERKUATAN DIAGONAL (*BRACING*) YANG MENCEGAH GAYA DENGAN ARAH YANG TAK BERATURAN HINGGA SAMPAI KE PENYANGGA (KOLOM STRUKTUR). SEDANGKAN, PADA GAMBAR B (GAMBAR 1.3.1B), SISTEM RANGKA BERKISI-KISI DIBENTANGKAN SECARA ORTHOGONAL UNTUK MEMBENTUK SISTEM GRID RUANG BERKISI-KISI (*SPACE LATTICED GRIDS*) YANG MENGURANGI BEBAN ATAP SECARA TERINTEGRASI MENYELURUH MENYALURKAN BEBAN KE KOLOM MELALUI PERIMETERNYA. SAAT BEBAN-BEBAN DITANGANI RANGKARANGKA SECARA 3 DIMENSI, BEBAN-BEBAN YANG SALING BERHUBUNGAN DARI *SPACE LATTICED GRIDS* (GAMBAR 1.3.1B) CENDERUNG LEBIH RENDAH DARI *PLANAR LATTICED STRUCTURE* (GAMBAR 1.3.1A) DAN TINGKAT KEDALAMANNYA DAPAT DIKURANGI MELALUI KONSEP *SPACE-FRAME*. KEMUDIAN, PERHATIKAN GAMBAR 1.3.2

UNTUK MERANCANG SEBUAH KUBAH (*DOME*), TERDAPAT DUA CARA MENDESAIN SISTEM RANGKA-RANGKA YANG STRUKTURAL. SEPERTI PADA GAMBAR DI ATAS. PADA GAMBAR A (GAMBAR 1.3.2A), SISTEM *FRAMING* MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA YANG KOMPLEKS DENGAN MENGGABUNGAN BEBERAPA ELEMEN-ELEMEN DASAR YANG BERPERAN PENTING *ARCH*, *PURLIN*, BATANG PRIMER DAN SEKUNDER (*PRIMARY BEAM* DAN *SECONDARY BEAM*) YANG DIBENTANGKAN DALAM SATU PERMUKAAN. TIAP-TIAP KOMPONEN BERPERAN MEMPERKUAT STRUKTURNYA. SEDANGKAN, PADA GAMBAR B (GAMBAR 1.3.2B), SISTEM *FRAMING* TERSEBUT MERUPAKAN SISTEM YANG MEMPERTEMUKAN ANTARA BATANG-BATANG LONGITUDINAL, BATANG-BATANG MERIDIONAL, DAN BATANG-BATANG DIAGONAL YANG MEMILIKI KEMIRIPAN DENGAN SISTEM CANGKANG BERKISI (*LATTICED SHELL*) DAN MERUPAKAN SISTEM YANG MENGURANGI KAPASITAS YANG DIPASTIKAN HANYA DILALUI AKSI INTEGRAL SECARA MENYELURUH.

PERBEDAAN ANTARA STRUKTUR PLANAR (*PLANAR STRUCTURE*) DENGAN *SPACEFRAME* DAPAT DILIHAT MELALUI ALIRAN-ALIRAN GAYANYA. PADA STRUKTUR PLANAR, GAYA-GAYA DIDISTRIBUSIKAN MELALUI KOMPONEN SEKUNDER, LALU KE KOMPONEN PRIMER, DAN AKHIRNYA KE PONDASINYA (DARI KOMPONEN-KOMPONEN YANG BERSIFAT RINGAN HINGGA KE YANG BERAT). SELAIN ITU, SISTEM PLANAR INI MENGELOMPOKKAN KOMPONEN RANGKA BERDASARKAN TINGKATAN KHUSUNYA, BUKAN HANYA MEMANDANG PRINSIP RANGKA YANG SALING BERPOTONGAN TEGAK LURUS. SEDANGKAN, PADA SISTEM *SPACE FRAME*, TIDAK TERDAPAT URUTAN-URUTAN DALAM PENYALURAN GAYA DAN SETIAP ELEMEN MEMILIKI PERAN YANG SAMA DENGAN TUJUAN UNTUK MENANGANI GAYA-GAYA DENGAN PENYESUAIAN TERHADAP PRINSIP STRUKTUR 3 DIMENSI.



Gambar 1.3.1 Contoh Struktur Frame Atap Bujursangkar Ruang



Gambar 1.3.2 Rangka Atap Berbentuk Kubah

KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN MENGGUNAKAN SPACE-FRAME

SPACE-FRAME MEMILIKI KARAKTERISTIK TERSENDIRI SEBAGAI SEBUAH STRUKTUR UNTUK MENDUKUNG PENDIRIAN BANGUNAN-BANGUNAN DENGAN BENTANGAN YANG LEBIH LEBAR. PENYALURAN GAYA YANG KAKU, STABIL, DAN KOMPLEKS MERUPAKAN PRINSIP-PRINSIP DASAR DARI PENYUSUNAN SISTEM *SPACE-FRAME*. DARI PRINSIP-PRINSIP TERSEBUT, DIDUKUNG OLEH KONSEP-KONSEP DASAR MENGENAI *SPACEFRAME*, TERDAPAT BEBERAPA KEUNTUNGAN DARI BEBERAPA FAKTOR YANG DAPAT DIPEROLEH BILA MENERAPKAN SISTEM STRUKTUR INI, ANTARA LAIN :

- 1) FAKTOR BERAT; MATERIAL DISEBARKAN DENGAN LELUASA DALAM SUATU MEKANISME TRANSFER BEBAN UTAMA SECARA AKSIAL; TEGANGAN ATAU KOMPRESI. ALHASIL, SELURUH MATERIAL DI DALAM ELEMEN YANG TERSEDIA DIMANFAATKAN HINGGA TINGKAT BATASNYA. JUGA, KEBANYAKAN *SPACE-FRAME* MENGGUNAKAN ALUMINIUM YANG SIFATNYA SANGAT RINGAN SEBAGAI MATERIAL.
- 2) FAKTOR TINGKAT KEKAKUAN; SUATU KONSTRUKSI *SPACE-FRAME* UMUMNYA CUKUP KAKU DIDUKUNG TINGKAT KERINGANANNYA, KARENA KARAKTERISTIK RANGKA 3 DIMENSI KETERLIBATAN SELURUH ELEMEN UTAMANYA SECARA KOMPLEKS DAN MERATA.
- 3) FAKTOR PRODUKSI; *SPACE-FRAME* DAPAT DIBUAT DARI UNIT-UNIT YANG TERPREFABRIKASI, YANG BIASANYA BANYAK UKURAN DAN BENTUKNYA. UNIT-UNIT TERSEBUT DAPAT DIANGKUT DENGAN MUDAH DAN DENGAN CEPAT DIRAKIT BAHKAN OLEH TENAGA YANG KURANG TERAMPIL, SERTA BIAYA PELAKSANAANNYA CENDERUNG LEBIH KECIL.
- 4) FAKTOR KESANGGUPAN; *SPACE-FRAME* MAMPU DIBENTUK SECARA VARIATIF KARENA MEMANFAATKAN SISTEM MODUL STANDAR UNTUK MENGHASILKAN BERBAGAI GRID DATAR, POLA-POLA *SHELL*, DAN BENTUK-BENTUK YANG LEBIH BEBAS. KEINDAHAN VISUAL DAN KESEDERHANAAN GARIS DALAM *SPACE-FRAME* MEMBUAT SISTEM INI SERING DIGUNAKAN.
- 5) SPACE FRAME DAPAT DIGUNAKAN UNTUK BENTANG YANG PANJANG
- 6) SISTEM KONTRUKSI SPACE FRAME SANGAT RINGAN
- 7) SPACE FRAME DAPAT DITERAPKAN DALAM BENTUK ATAP APA PUN
- 8) UMUR SISTEM RELATIF LEBIH PANJANG 50-100 TAHUN
- 9) LEBIH MENARIK JIKA DILIHAT DARI SEGI ESTETIKA
- 10) HARGA LEBIH EFISIEN DENGAN BENTANG PANJANG

KERUGIAN DARI SPACE-FRAME:

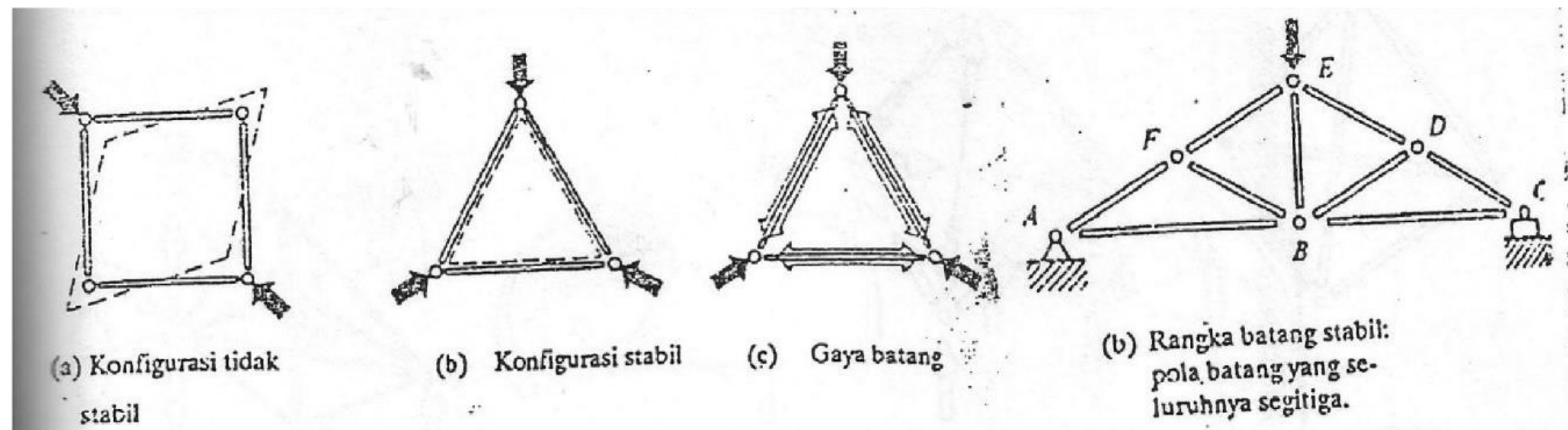
- 1) MAHAL :
ELEMEN-ELEMENYA DIPESAN DARI PABRIK, SEHINGGA MAHAL.
- 2) Pengerjaan lama :
STRUKTUR SPACE FRAME JARANG DIGUNAKAN, HANYA PADA BANGUNAN-BANGUNAN TERTENTU SAJA.
SEHINGGA AHLI DALAM BIDANG INI MASIH SEDIKIT
- 3) TIDAK TAHAN API :
STRUKTUR YANG DIGUNAKAN BERBAHAN DASAR LOGAM. KITA TAHU BAHWA LOGAM TIDAK TAHAN PANAS, DAPAT LELEH AKIBAT PANAS



PRINSIP UMUM SPACE-FRAME

STRUKTUR *SPACE-FRAME* MERUPAKAN STRUKTUR RANGKA DARI HASIL PENGEMBANGAN BENTUK DARI RANGKA BATANG-BATANG YANG SIFATNYA MERATA. HAL INI BERARTI BAHWA STRUKTUR INI DAPAT MENANGANI BEBAN DARI SEGALA ARAH SECARA STABIL KARENA PRINSIP *FRAMING* BATANG-BATANG YANG MERATA TANPA ADANYA PERBEDAAN KEKUATAN ATAU TINGKAT BEBAT/KEKAKUAN TIAP-TIAP BATANG. SEHINGGA, BAIK YANG BERSIFAT MEMANJANG, MELINTANG, MAUPUN BERSILANGAN (DIAGONAL), BATANG-BATANGNYA MEMILIKI PERANAN YANG SAMA DALAM MENANGANI BEBAN DAN MENYALURKAN GAYA-GAYA.

PRINSIP UTAMA YANG MENDASARI PENGGUNAAN RANGKA BATANG-BATANG PEMIKUL BEBAN IALAH PENYUSUNAN ELEMEN-ELEMEN MENJADI HIMPUNAN SEGITIGA YANG MEMBENTUK KOMPOSISI YANG SALING MELENGKAPI DAN SIFATNYA STABIL. PENGGUNAAN PRINSIP HIMPUNAN SEGITIGA INI DIDASARI PADA SIFAT DASAR DARI BENTUK-BENTUK BIDANG 2 DIMENSI YANG DIIBARATKAN SEBAGAI SUATU SISTEM STRUKTUR SEDERHANA. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.



Gambar 2.1.3 Perbandingan Sifat-Sifat Struktural Dasar Segiempat dan Segitiga

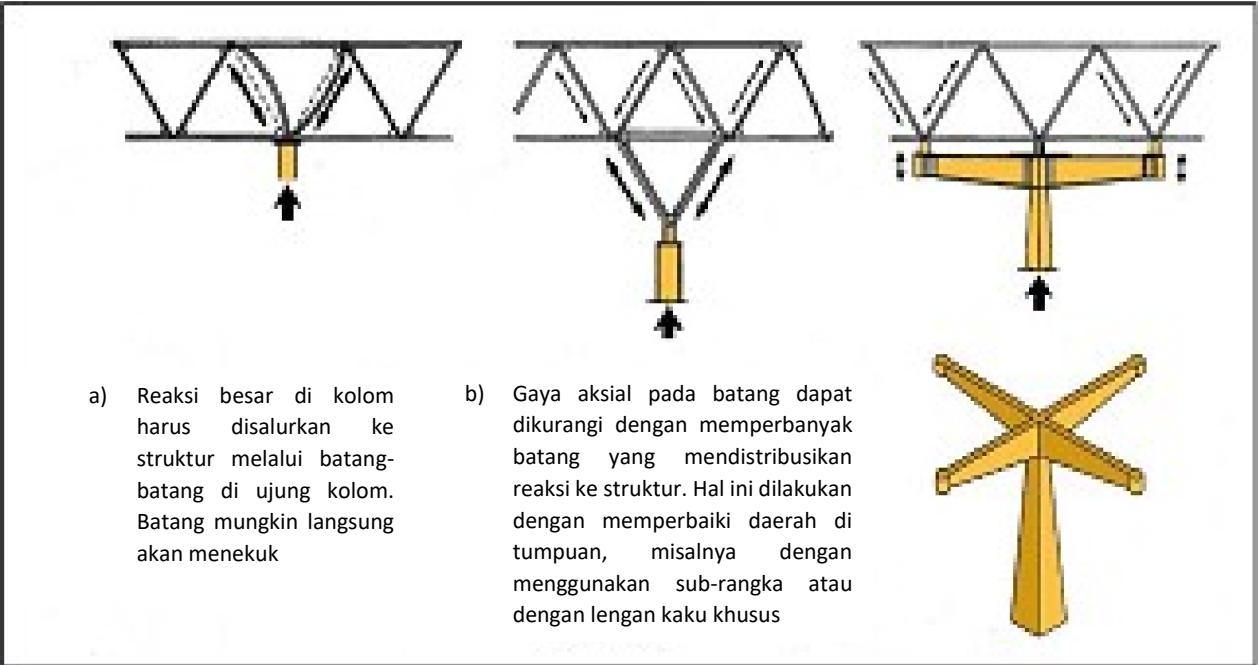
NB : SEMBARANG SUSUNAN SEGITIGA AKAN MENGHASILKAN STRUKTUR YANG STABIL DAN KAKU (RIGID)

ANALISIS STRUKTUR RANGKA RUANG

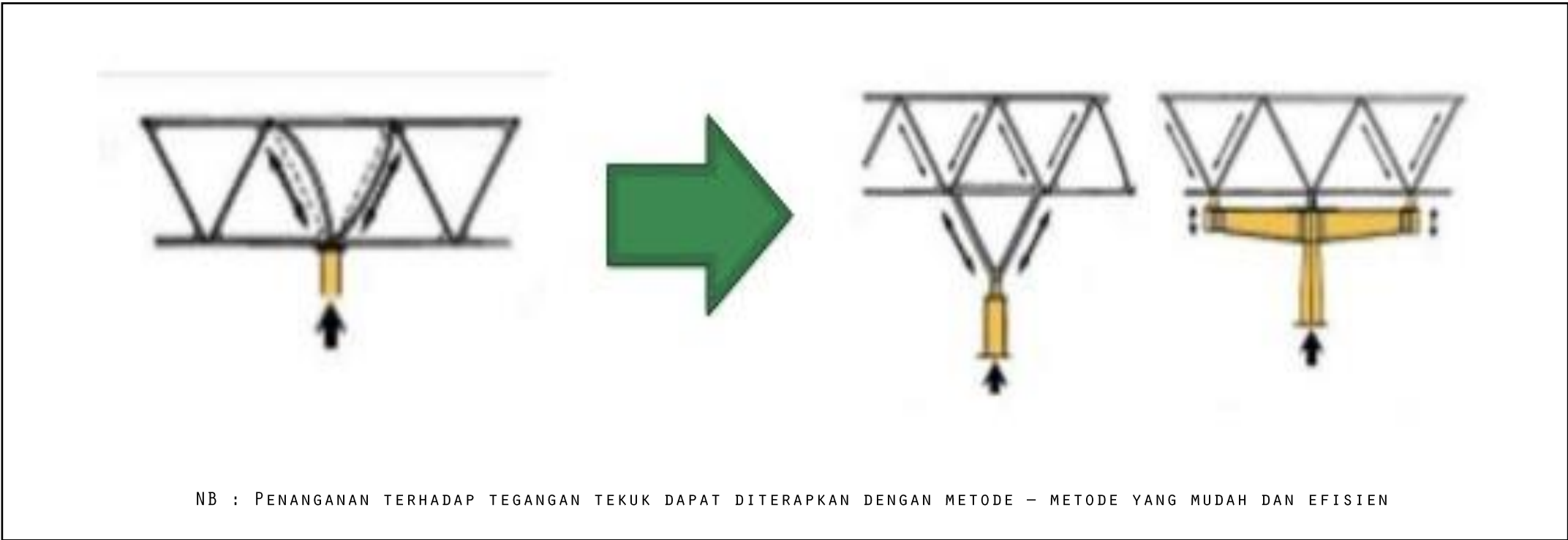
BEBERAPA FAKTOR YANG AKAN DIURAIKAN BERIKUT MERUPAKAN TINJAUAN DESAIN PADA STRUKTUR RANGKA RUANG. FAKTOR---FAKTOR ITU ANTARA LAIN :

- 1. GAYA-GAYA ELEMEN STRUKTUR GAMBAR 2 BERIKUT INI MENGILUSTRASIKAN GAYA-GAYA ELEMEN YANG TERJADI PADA STRUKTUR RANGKA RUANG.
- 2. DESAIN BATANG DAN BENTUK

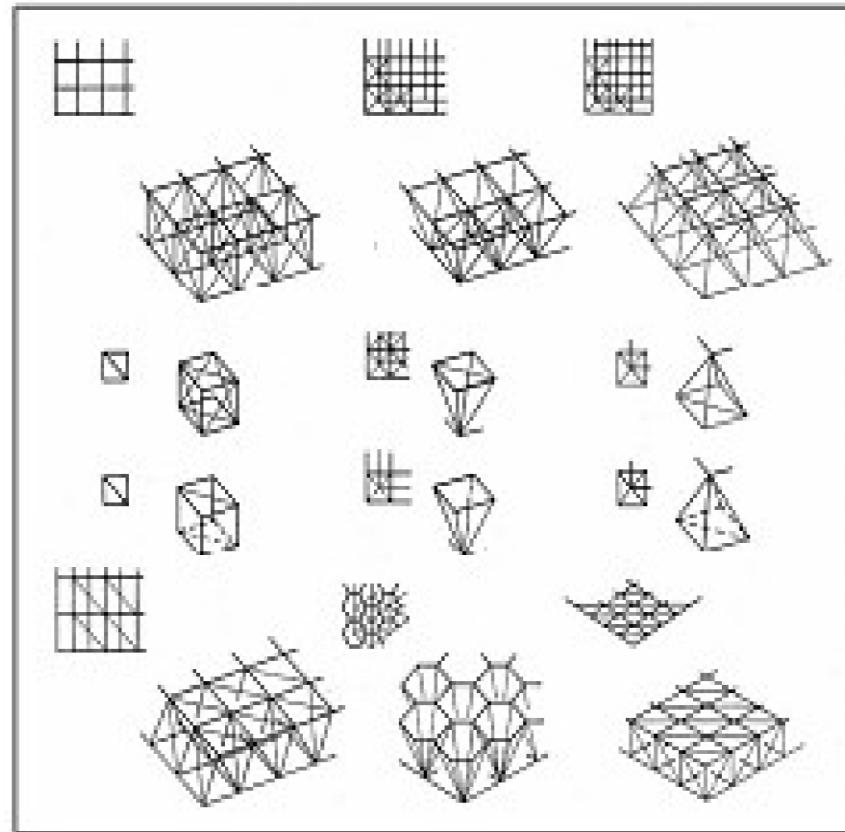
BANYAK SEKALI UNIT GEOMETRIS YANG DAPAT DIGUNAKAN UNTUK MEMBENTUK UNIT BERULANG MULAI DARI TETRAHEDRON SEDERHANA, SAMPAI BENTUK-BENTUK POLYHEDRAL LAIN (GAMBAR 4.40). RANGKA RUANG TIDAK HARUS TERDIRI ATAS MODUL-MODUL INDIVIDUAL, TAPI DAPAT PULA TERDIRI ATAS BIDANG-BIDANG YANG DIBENTUK OLEH BATANG MENYILANG DENGAN JARAK SERAGAM.



Gambar 2. Gaya-gaya pada Struktur Rangka Ruang



NB : PENANGANAN TERHADAP TEGANGAN TEKUK DAPAT DITERAPKAN DENGAN METODE – METODE YANG MUDAH DAN EFISIEN



DARI GAMBAR PERAGA DI ATAS, DAPAT DIPAHAMI BAHWA KONFIGURAS SEGITIGA LEBIH UNGGUL DARI KONFIGURASI SEGIEMPAT DALAM MENANGANI GAYAGAYA YANG DATANG DARI BERBAGAI ARAH-ARAH YANG TAK TERDUGA. KONFIGURASI SEGIEMPAT DAPAT MENGALAMI PEMBELOKAN YANG DAPAT MENGUBAH KESAN BUJURSANGKAR DARI SEGIEMPAT TERSEBUT AKIBAT ADANYA GAYA TEKAN YANG DILAKUKAN PADA SATU TITIK POJOK SEGIEMPAT YANG MEWAKILI SALAH SATU SUMBU KOORDINAT. HAL INI DISEBABKAN AKIBAT TIDAK ADANYA PERKUATAN YANG SALING MENDUKUNG ANTARA 2 TITIK SUDUT YANG SALING BERHADAPAN. BERBEDA HALNYA DENGAN KOMPOSISI SEGITIGA, DI MANA SETIAP TITIK SUDUT SALING TERHUBUNG MELALUI BATANG-BATANG/RUSUK-RUSUKNYA (*MEMBER*). SEHINGGA DALAM MENGHADAPI GAYA-GAYA DARI BERBAGAI ARAH, SEGITIGA INI AKAN TETAP STABIL DAN TIDAK ADANYA PEMBELOKAN YANG TERJADI PADA TITIK SUDUTNYA. SETIAP KOMPOSISI BATANG SEGITIGA ADALAH STABIL, SEHINGGA DAPAT DISIMPULKAN BAHWA SEMBARANG SUSUNAN SEGITIGA BERSIFAT STABIL DAN KAKU.

LEBIH LANJUTNYA LAGI, SEGITIGA-SEGITIGA YANG SALING BERKOMPOSISI AKAN MEMBENTUK RANGKAIAN YANG BUKAN HANYA STABIL, NAMUN DAPAT DIBUAT LEBIH BERKEMBANG. SEHINGGA, KOMPOSISI INI DAPAT MENJADI STRUKTUR YANG SIFATNYA LEBIH KOMPLEKS. UNTUK MEMBUAT STUKTUR YANG LEBIH KOMPLEKS, TENTUNYA DAPAT DICAPAI DENGAN MEMBUAT KOMPOSISI SEGITIGA INI BEKERJA SECARA 3 DIMENSI (PRINSIP MERUANG).

RANGKA BATANG DAN RANGKA RUANG DIHASILKAN DARI RAKITAN LOOP-LOOP STRUKTURAL SEGITIGA (*TRIANGULASI*). BATANG-BATANG STRUKTUR DIRANCANG UNTUK MENAHAN GAYA BERSIFAT TARIK DAN TEKAN TANPA 'MELENTUR'. BATANG TARIK CENDERUNG LEBIH EFISIEN DARI BATANG TEKAN KARENA MAMPU MENANGANI TEGANGAN TEKUK (*BUCKLING*). SISTEM STRUKTUR INI MENGHASILKAN PERALIHAN GAYA-GAYA, DI MANA GAYA EKSTERNAL TERBAGI DALAM BEBERAPA ARAH DAN DIIMBANGI OLEH GAYA-GAYA YANG ARAHNYA BERLAWANAN SESUAI PRINSIP VEKTOR.

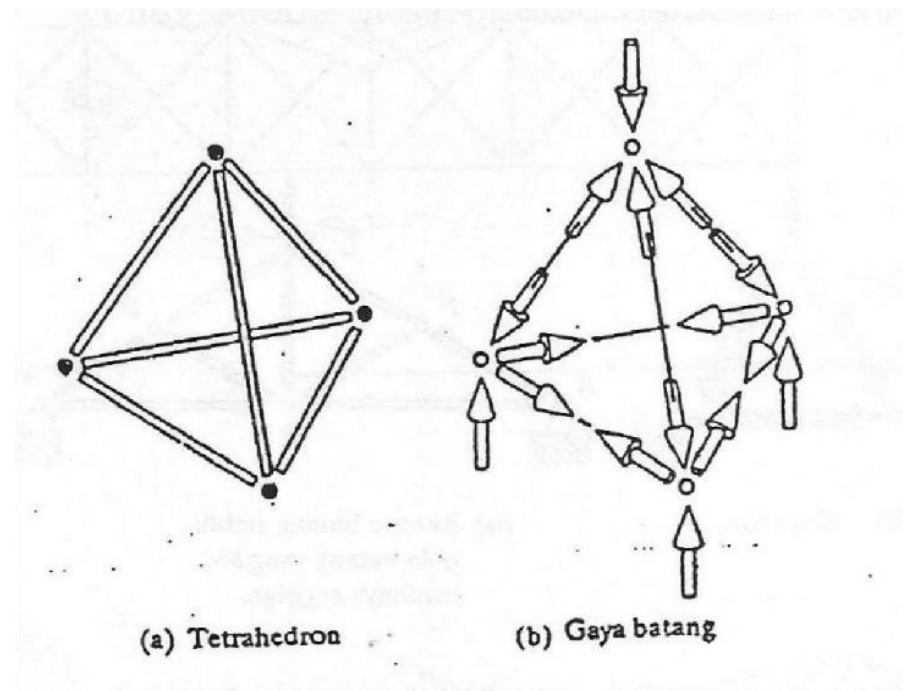
DAYA GUNA STRUKTUR *SPACE-FRAME* UMUMNYA TERLETAK PADA KESANGGUPANNYA UNTUK MENDISTRIBUSIKAN PENGARUH TERPUSAT DARI BEBAN SEBANYAK MUNGKIN. SIFAT STRUKTUR INI DIGUNAKAN UNTUK MENUTUP RUANG YANG BESAR TANPA TIANG ANTARA. DISAMPING ITU, STRUKTUR INI JUGA EKONOMIS KARENA KONSTRUKSINYA MENGGUNAKAN ELEMEN YANG BERSIFAT RINGAN DAN DAPAT DIRANCANG SECARA PREFABRIKASI (DIRANCANG, LALU DIKERJAKAN DI LAPANGAN). TUJUAN YANG INGIN DICAPAI DARI SISTEM KONSTRUKSI INI ANTARA LAIN:

- 1) PENERAPAN SISTEM KONSTRUKSI YANG SIFATNYA BAKU (LEBIH MENDASAR)
- 2) SISTEM KONSTRUKSI MELALUI ELEMEN RANGKA YANG MEMILIKI PANJANG DAN TINGKAT KEMAMPUAN DAN KEKUATAN YANG CENDERUNG SAMA SATU SAMA LAIN
- 3) DIRAKIT DENGAN SISTEM SAMBUNGAN YANG SERAGAM PADA TIAPTIAP PERTEMUAN BATANG, SEHINGGA SAMBUNGAN INI HANYA MEMERLUKAN 1 BAUT DI UJUNG TIAP-TIAP ELEMEN TERSEBUT
- 4) SISTEM DIBUAT DENGAN MODUL-MODUL ATAU PATOKAN YANG SAMA DAN KELUWESANNYA MEMUNGKINKAN PERLUASAN DAN PERUBAHAN (PENGEMBANGAN), LEBIH LANJUTNYA MEMUDAHKAN DALAM PROSES PEMBONGKARAN (APABILA DIBUTUHKAN).

STRUKTUR RANGKA RUANG MEMUNGKINKAN ARSITEK MENCIPTAKAN BENTUK YANG LOGIS DAN BERFUNGSI. NAMUN, KENDALA YANG DIHADAPI ADALAH KESUKARAN MENENTUKAN PERHITUNGAN STRUKTURAL YANG TEPAT UNTUK MEMPEROLEH KESEIMBANGAN TERHADAP BANGUNAN YANG AKAN DIBANGUN.

PRINSIP MEKANIK SPACE-FRAME

DENGAN MENGEMBANGKAN PRINSIP KOMPOSISI RANGKA SEGITIGA MENJADI KOMPOSISI RANGKA SEGITIGA YANG MERUANG (PRINSIP 3 DIMENSI), MAKA KESTABILAN ITU BUKAN HANYA AKAN TERLIHAT SECARA MEMBIDANG (HANYA TERPAUT PADA 2 SUMBU KOORDINAT), NAMUN JUGA AKAN BERSIFAT MERUANG (KESTABILAN PEMBEBANAN 3 DIMENSI). TENTUNYA DENGAN DIKEMBANGKAN MENJADI BENTUK 3 DIMENSI, KOMPOSISI SEGITIGA INI PERLU DIKEMBANGKAN DENGAN PENAMBAHAN PANJANG DAN BENTANGAN AGAR MAMPU MENGHASILKAN SUATU STRUKTUR DENGAN BENTANGAN YANG DAPAT DIFUNGSIKAN SEBAGAI BANGUNAN DENGAN TUJUAN TERTENTU. MELALUI PERNYATAAN-PERNYATAAN TERSEBUT, DAPAT DIKETAHUI BAHWA BENTUK DASAR SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME* ADALAH TETRAHEDRAL. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.



BENTUK DASAR SISTEM *SPACE-FRAME* ADALAH BENTUK POLIHEDRAL DENGAN POLA YANG DIULANG-ULANG BERDASARKAN MODUL-MODUL ATAU ACUAN TERTENTU. SEHINGGA, BENTUK *SPACE-FRAME* YANG DIHASILKAN DAPAT DIRANGKAI SEBAGUS MUNGKIN UNTUK MENAMBAH KEINDAHAN YANG BERSIFAT STRUKTURAL. BENTUKBENTUK YANG DIHASILKAN SANGAT BERAGAM, MESKIPUN PRINSIP TETRAHEDRAL DENGAN PENYALURAN GAYA YANG KOMPLEKS INI MEMBERI KESAN KAKU (SULIT UNTUK MEMBUAT BENTUK YANG TERKESAN DINAMIS). SEHINGGA, BANGUNANBANGUNAN YANG MENGGUNAKAN STRUKTUR INI JUGA, RANCANGANNYA DAPAT DIBUAT LEBIH BERBEDA DARI DESAIN-DESAIN *SPACE-FRAME* YANG LEBIH MENDASAR DAN YANG SUDAH PERNAH DIBUAT SEBELUMNYA.

STRUKTUR *SPACE-FRAME* MERUPAKAN KOMPOSISI RANGKA YANG DIBUAT MERUANG DEMI MENGHASILKAN PENGOLAHAN DAN PENANGANAN GAYA-GAYA BERDASARKAN 3 SUMBU KOORDINAT (SUMBU X, Y, DAN Z). DI MANA, PRINSIP PENGOLAHAN GAYA-GAYA YANG BEKERJA AKAN TERFOKUS PADA 'TITIK-TITIK KUMPUL' DARI SEGITIGA (PERTEMUAN *MEMBER*, *JOINT*). DARI HAL INI, TERLIHAT BAHWA:

1) SISTEM GAYA YANG BEKERJA PADA TIAP-TIAP TITIK KUMPUL TERDIRI ATAS:

☐ GAYA BATANG YANG BERKUMPUL PADA TITIK KUMPUL

☐ BEBAN-BEBAN EKSTERNAL YANG BEKERJA PADA TITIK KUMPUL 2) TIAP-TIAP TITIK KUMPUL HARUS BERADA PADA KEADAAN YANG SEIMBANG

3) PRINSIP-PRINSIP MEKANIKA STRUKTUR RANGKA RUANG ADALAH PENGALIRAN BEBANBEBAN DAN GAYA-GAYA YANG ARAHNYA 'SAMA DAN BERLAWANAN' YANG BEKERJASAMA DALAM SATU KESATUAN YANG KOMPAK, DI MANA GAYA-GAYA SALING BEREAKSI MENIADAKAN/MEMATIKAN, SESUAI DENGAN HUKUM NEWTON III

(FAKSI = FREAKSI).

4) PERSAMAAN STATIKA YANG DIGUNAKAN DIDASARKAN PADA PRINSIP MERUANG (TIGA DIMENSI), SEHINGGA PERHITUNGAN STATIKA MENINJAU KETIGA SUMBU KOORDINAT (X, Y, DAN Z) DENGAN PERSAMAAN:

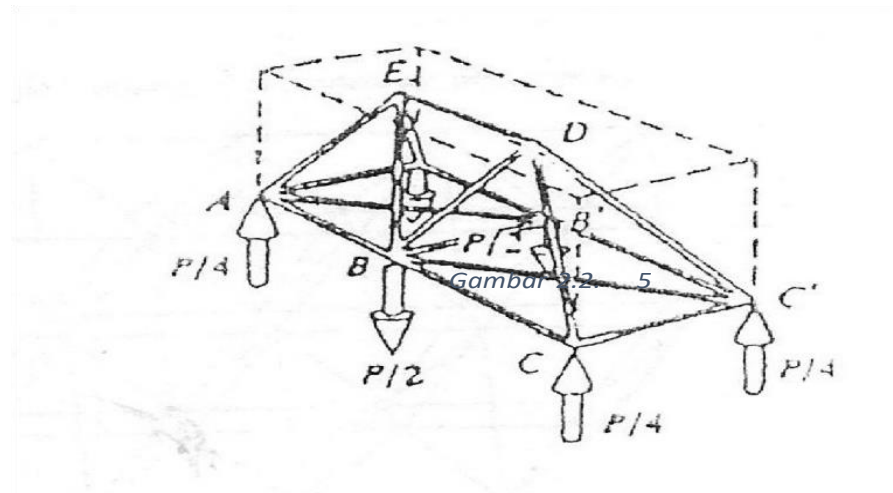
$$\square F_x=0 \quad | \quad M_x=0$$

$$\square F_y=0 \quad | \quad M_y=0$$

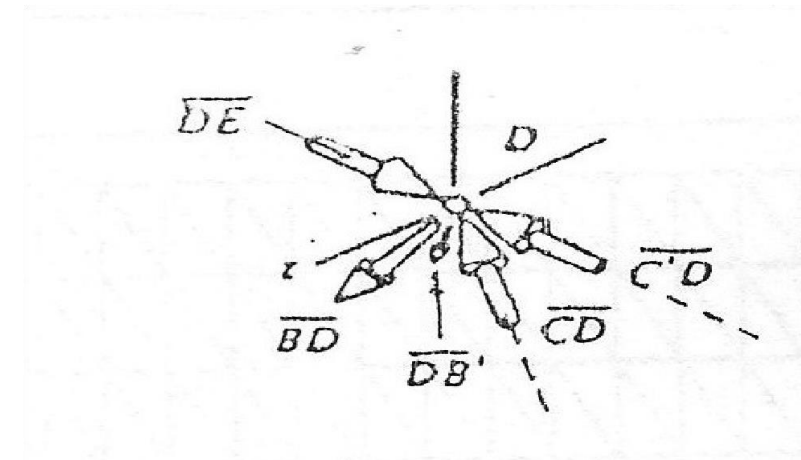
$$\square F_z=0 \quad | \quad M_z=0$$

5) UNTUK MEMUDAHKAN DALAM MENCIPTAKAN KESEIMBANGAN DALAM PERANCANGAN STRUKTUR *SPACE-FRAME*, MAKA SEBAIKNYA MENGGUNAKAN SUDUT-SUDUT ISTIMEWA ($45^\circ, 60^\circ, \text{DSB}$) TERHADAP RUSUK BENTANG, SEHINGGA DIPEROLEH KEMUNGKINAN BAHWA LEBAR BENTANG DAPAT DIKEMBANGKAN 6 HINGGA 36 KALI UNIT MODUL BENTANGAN.

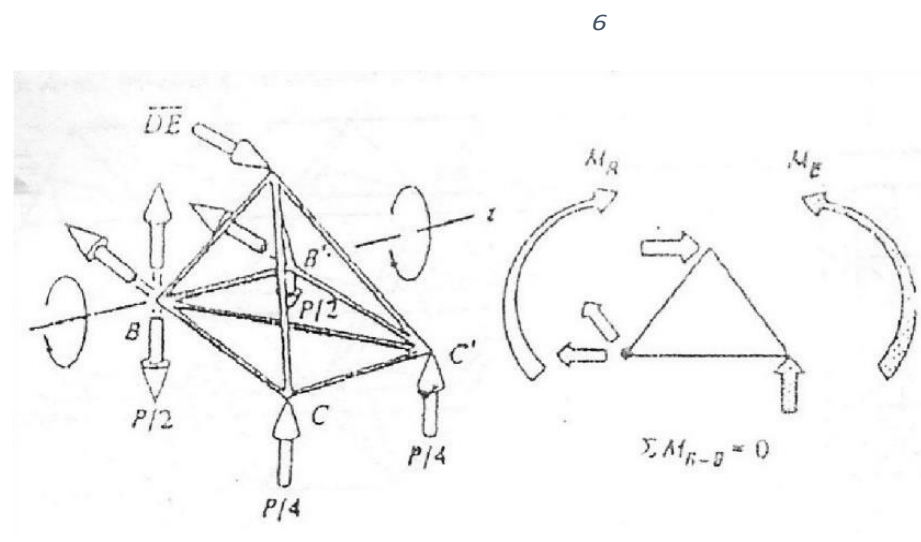
APABILA DITERAPKAN PADA SUATU RUANGAN YANG DIMENSINYA CUKUP BESAR, MAKA PRINSIP KERJA INI AKAN MELIBATKAN BANYAK TITIK HUBUNG DAN BATANG (DIPERLUKAN PERHITUNGAN TELITI DAN FORMULASI KOMPUTER UNTUK MEMBUAT KONFIGURASI YANG KOMPLEKS DAN BENAR). DENGAN INI, SISTEM SPACEFRAME AKAN TERCIPTA DENGAN PENATAAN TITIK-TITIK KUMPUL YANG DAPAT MENCIPTAKAN KESEIMBANG ROTASIONAL DAN TRANSLASIONAL, TERMASUK JUGA PADA TIAP-TIAP SEGMENTNYA. MOMEN EKSTERNAL HARUS SEIMBANG DENGAN MOMEN TAHANAN INTERNAL (YANG DITIMBULKAN OLEH GAYA-GAYA BATANG). UNTUK LEBIH JELASNYA, DAPAT DILIHAT MELALUI GAMBAR PERAGA BERIKUT INI.



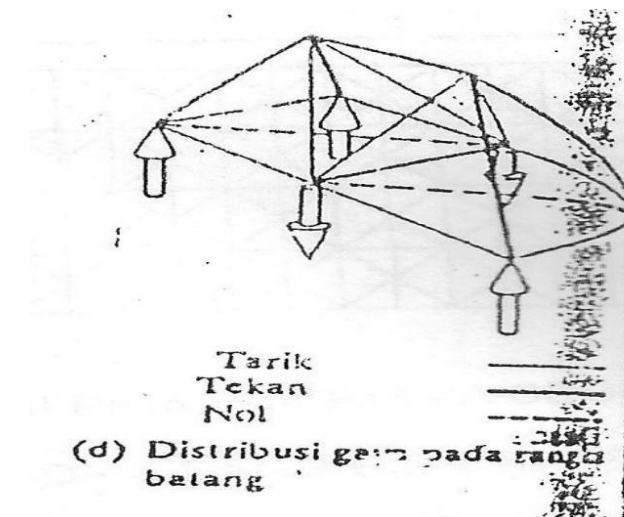
Gambar 2.2.5 Salah Satu Contoh Konfigurasi 3D Space-Frame yang Khas



Gambar 2.2.6 Reaksi gaya-gaya yang Saling Berlawanan Arah pada Titik Kumpul



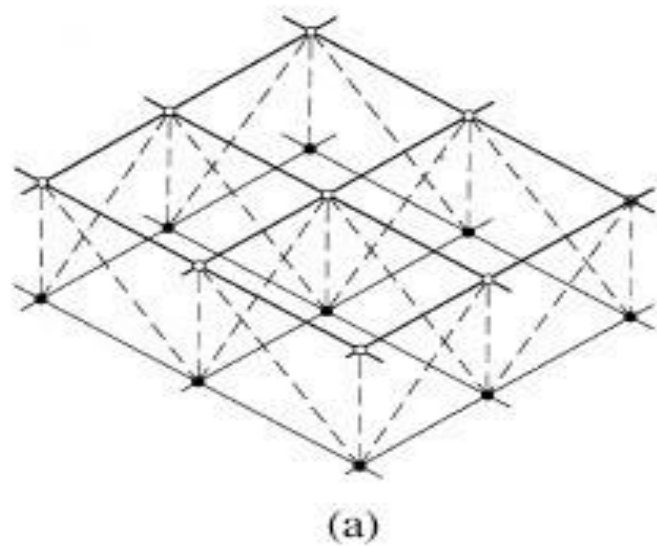
Gambar 2.2.7 Distribusi Tarik-Tekan pada Konfigurasi Batang



Gambar 2.2.8 Keseimbangan yang tercipta pada segmen yang berbeda ukuran

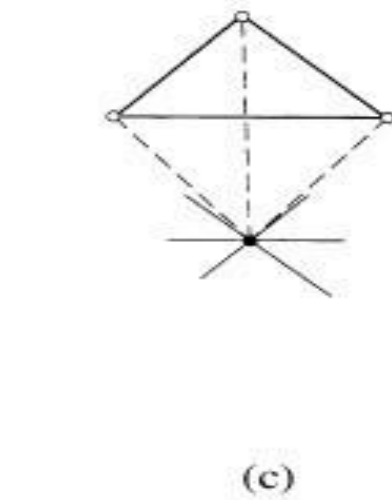
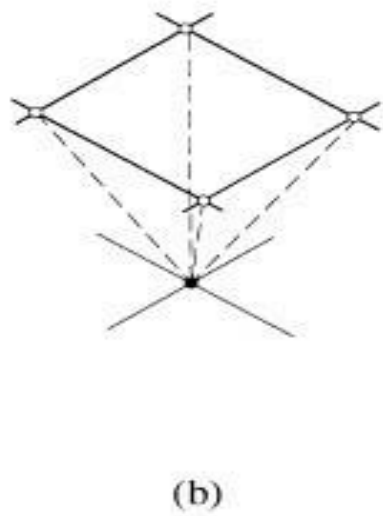
DOUBLE LAYER GRIDS DAN METODE DUKUNGAN STRUKTURAL

SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME* SANGAT BERAGAM. NAMUN, TERDAPAT SALAH SATU JENIS KOMPOSISI *FRAMING* DARI SISTEM STRUKTUR INI YANG GUBAHAN BENTUKNYA DAPAT MENCIPTAKAN JENIS KOMPOSISI STRUKTUR RANGKA DENGAN ISTILAH YANG PENGERTIAN YANG LEBIH BERAGAM. SISTEM TERSEBUT ADALAH SISTEM GRID 2 PERMUKAAN (*DOUBLE LAYER GRIDS*). *DOUBLE LAYER GRIDS* MERUPAKAN SISTEM GRID *SPACE-FRAME* YANG DALAM BENTUKANNYA, MENGHASILKAN DUA PERMUKAAN BIDANG, YAITU PADA BAGIAN ATAS DAN BAGIAN BAWAH DARI STRUKTUR *SPACE-FRAME* TERSEBUT. *DOUBLE LAYER GRIDS* TERBENTUK MELALUI 3 MACAM BENTUK DASAR ANTARA LAIN:



A) RANGKA BERKISI-KISI PLANAR (*PLANAR LATTICED TRUSS*)

SEBAGAIAN BESAR *DOUBLE LAYER GRIDS* BERASAL DARI TIGA BENTUK DI ATAS. BENTUK PENGEMBANGAN *DOUBLE LAYER GRIDS* DIVARIASIKAN DENGAN CARA MEMBUAT VARIASI ARAH RUSUK YANG BERSIFAT DIAGONAL YANG MENGHUBUNGKAN PERMUKAAN ATAS DAN PERMUKAAN BAWAH DARI BIDANG YANG DIBENTUK OLEH *DOUBLE LAYER GRIDS* TERSEBUT. SELAIN ITU, TERDAPAT MACAM-MACAM PENGEMBANGAN DASAR LAYOUT *DOUBLE LAYER GRIDS* DISERTAI DENGAN CARA PEMILIHANNYA PADA DISESUAIKAN BENTUK BANGUNAN, ANTARA LAIN:



C) LIMAS SEGI EMPAT (SEPARUH OCTAHEDRAL)

B) LIMAS SEGITIGA (TETRAHEDRAL)

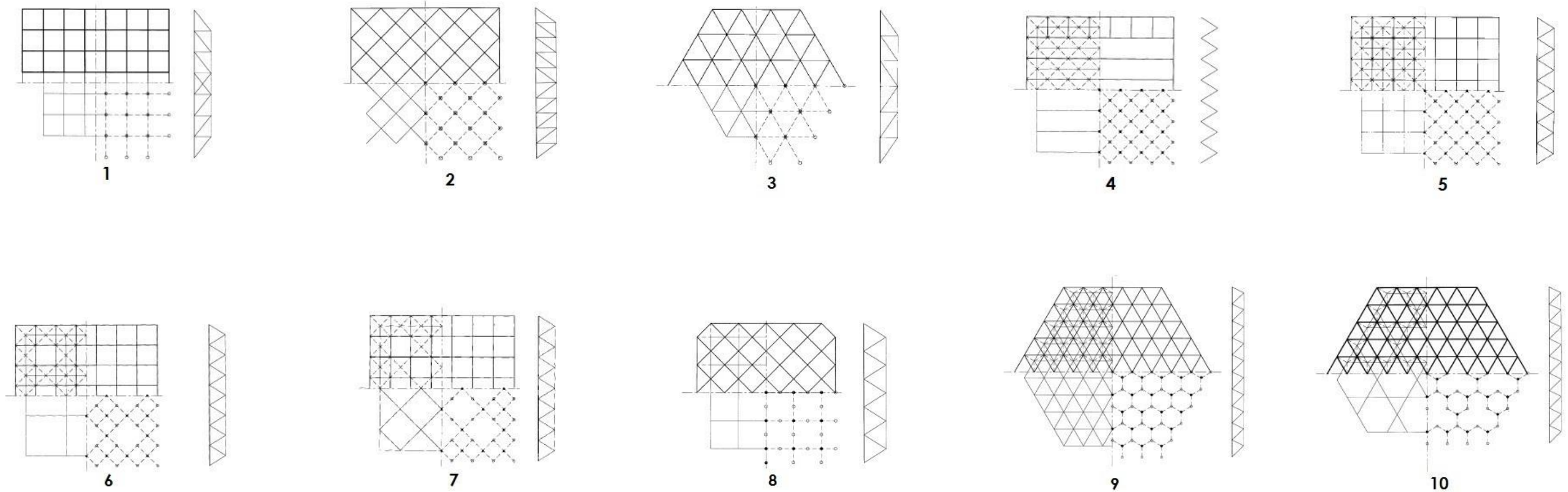


TABLE 13.1 Type Choosing for Double Layer Grids

Shape of the plan	Supporting condition	Recommended types
Square, rectangular (aspect ratio = 1 to 1.5)	Along perimeters	1, 2, 5, 6, 7, 8
Rectangular (aspect ratio = 1.5 to 2)	Along perimeters	1, 5, 6, 7
Long strip (aspect ratio > 2)	Along perimeters	4
Square, rectangular	Intermediate support	1, 5, 6
Square, rectangular	Intermediate support combined with support along perimeters	1, 2, 5, 6, 8
Circular, triangular, hexagonal, and other odd shapes	Along perimeters	3, 9, 10

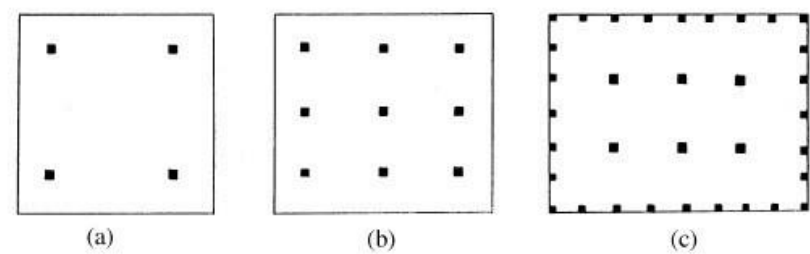
Gambar 2.3.9 Macam-Macam Double Layer Grids dan Cara Pemilihan Bentuk

DI SAMPING ITU, TERDAPAT BERBAGAI METODE DUKUNGAN STRUCTURAL DARI SISTEM *DOUBLE LAYER GRIDS* INI, ANTARA LAIN:

A) DUKUNGAN DI SEPANJANG PINGGIRAN/PERIMETER (*SUPPORT ALONG PERIMETERS*); METODE INI YANG PALING BANYAK DIGUNAKAN DI BERBAGAI LOKASI. DUKUNGAN TERHADAP *DOUBLE LAYER GRIDS* MUNGKIN SECARA LANGSUNG DIALIRKAN KE KOLOM ATAU PADA CINCIN BALOK YANG MENGHUBUNGKAN KOLOM DENGAN DINDING LUAR. HARUS DIPERHATIKAN BAHWA MUKURAN MODUL DARI GRID HARUS DICOCOKKAN DENGAN PEMBERIAN SPASI KOLOM.

B) DUKUNGAN KOLOM GANDA (MULTI COLOUMN SUPPORT); SEPERTI GELANGGANG OLAHRAGA, *DOUBLE LAYER GRID* DAPAT MENDUKUNG PADA EMPAT KOLOM UTAMA SEPERTI YANG DIPERLIHATKAN GAMBAR BERIKUT (GAMBAR 2.3.2A). UNTUK BANGUNAN SEPERTI WORKSHOP, UMUMNYA MENGGUNAKAN KOLOM DENGAN BENTANGAN GANDA (*MULTI SPAN COLUMNS*) DALAM BENTUK GRID SEPERTI YANG DIPERLIHATKAN GAMBAR BERIKUT (GAMBAR 2.3.2B). TERKADANG, GRID DARI KOLOM DIGUNAKAN UNTUK KOMBINASI DENGAN DUKUNGAN DI SEPANJANG TEPI SEPERTI YANG DIPERLIHATKAN GAMBAR BERIKUT (GAMBAR 2.3.2C). SISTEM PENGGANTUNG SEBAIKNYA DITEMPATKAN PADA KOMUNGKINAN YANG DAPAT MENYEDIAKAN BEBERAPA PEMBALIKAN UNTUK MENGURANGI BEBAN PENGHUBUNG INTERIOR DAN DEFLEKSI. UNTUK *DOUBLE LAYER GRID* YANG MENDUKUNG KOLOM-KOLOM UTAMA, SANGAT BAIK UNTUK MERANCANG SISTEM GANTUNG (*OVERHANG*) YANG DIAMBIL SEKITAR $\frac{1}{4}$ HINGGA $\frac{1}{3}$ DARI BENTANGAN TENGAH. DUKUNGAN SUDUT SEBAIKNYA DIHINDARI JIKA MUNGKIN KARENA MENYEBABKAN GAYA YANG BESAR PADA BAGIAN TEPI BANGUNAN. JIKA HANYA EMPAT KOLOM DUKUNGAN YANG DISEDIAKAN, KEMUDIAN SANGAT DIHARAPKAN UNTUK MENEMPATANNYA DI TENGAH DARI SISI BANGUNAN DARIPADA DI POJOK BANGUNAN.

C) DUKUNGAN TERHADAP PINGGIR BANGUNAN DI TIGA SISI; UNTUK BANGUNAN YANG BERBENTUK SEGIEMPAT, SANGAT PENTING UNTUK MEMBIARKAN SALAH SATU SISINYA TERBUKA, MISALNYA UNTUK FUNGSI HANGAR PESAWAT. DARRIPADA MEMBUAT GIRDER PENDUKUNG ATAU *TRUSS* PADA BAGIAN SISI YANG BEBAS, *TRIPLE LAYER GRIDS* DAPAT DIBENTUK OLEH PENAMBAHAN SEDERHANA LAPISAN DARI BEBERAPA LEBAR MODUL (GAMBAR 2.3.3). UNTUK BENTANGAN YANG AGAK PENDEK, DAPAT JUGA DIATASI DENGAN MENAMBAH KEDALAMAN ANTARA BIDANG-BIDANG PERMUKAAN RANGKA *DOUBLE LAYER GRIDS*. AREA POTONGAN DARI *MEMBER* DI SEPANJANG SISI YANG BEBAS DITAMBAH.



Gambar 2.3.10 Dukungan Multi Kolom

SELAIN ITU, AGAR BENTUK-BENTUK DESAIN STRUKTUR DI ATAS DAPAT BEKERJA DENGAN MAKSIMAL, PERLU DITERAPKAN HUBUNGAN ANTARA DIMENSI MODUL (*MODULE*) DENGAN TINGKAT KEDALAMAN PERMUKAAN (*LAYER DEPTH*) TERHADAP SUDUT SEGITGA-SEGITIGA YANG TERBENTUK DALAM KOMPOSISI *SPACE-FRAME*. BERAPAPUN JARAK MODUL DAN KEDALAMAN PERMUKAAN, AGAR SEIMBANG, MAKA SUDUT SEGITIGA HARUS BERKISAR ANTARA 30° - 60° . UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.

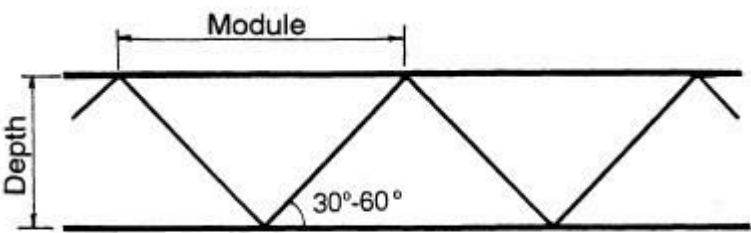
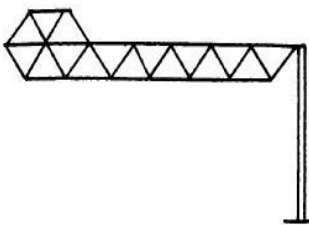
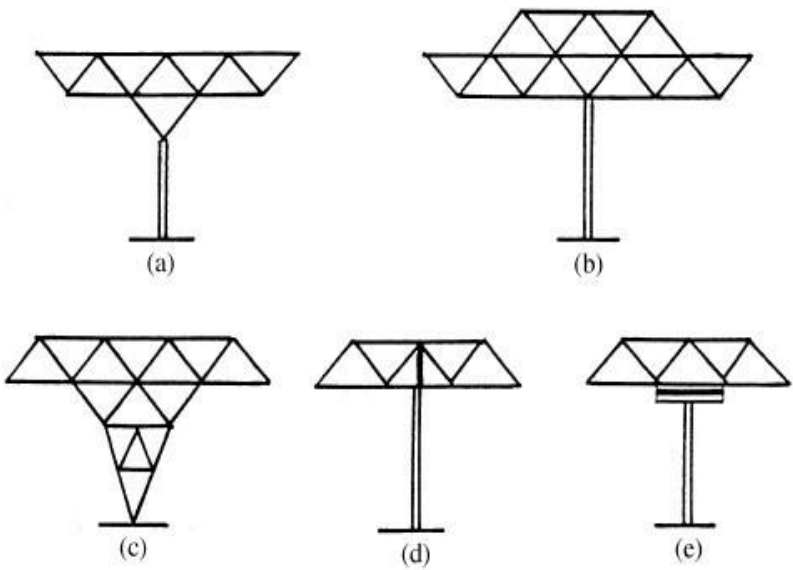


FIGURE 13.8: Depth and module.

Gambar 2.3.11 Sudut Segitiga yang Dikomposisikan terhadap Dimensi Struktur



Gambar 2.3.12 Triple layer grid pada daerah bebas



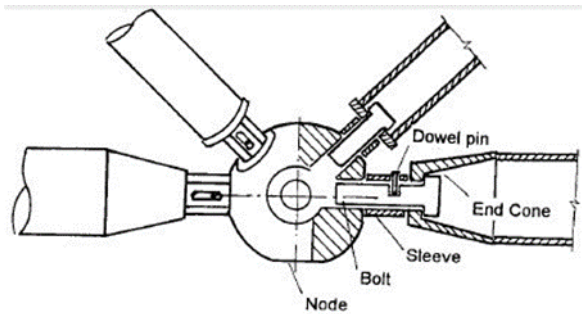
Gambar 2.3.13 Bentuk Variasi Dukungan Kolom

SISTEM SAMBUNGAN SPACE-FRAME

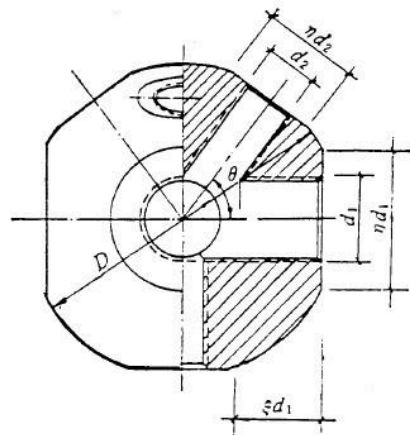
SISTEM SAMBUNGAN PADA *SPACE-FRAME* SANGAT BERAGAM, SELAIN PENGEMBANGAN BENTUK-BENTUKNYA YANG SANGAT BEBAS. TENTUNYA, SISTEM SISTEM SAMBUNGAN INI DIBUAT UNTUK MENYAMBUNGAN LEBIH DARI DUA BATANG *MEMBER*, NAMUN DAPAT MENYAMBUNGAN LEBIH BANYAK *MEMBER* YANG UJUNGNYA DIKUMPULKAN DALAM SATU TITIK. MACAM-MACAM SISTEM SAMBUNGAN *SPACE-FRAME* ANTARA LAIN SEBAGAI BERIKUT.

SISTEM MERO

SISTEM SAMBUNGAN MERO, PERTAMA KALI DIPERKENALKAN OLEH DR. MENERINGHAUSEN. SISTEM SAMBUNGAN INI TERDIRI DARI SEBUAH BENDA YANG BERFUNGSI SEBAGAI TITIK SAMBUNG DARI BAJA PRESS (*HOT PRESSED STEEL*) DITEMPA DENGAN PERMUKAAN-PERMUKAAN GOSOK DAN LUBANG-LUBANG TEPUK. BATANG-BATANG (*MEMBER*) MERUPAKAN POTONGAN BAJA *HOLLOW* DENGAN BAJA TEMPAAN BERBENTUK KERUCUT YANG DILAS PADA PADA PINGGIRANNYA YANG DIBUAT SAMBUNGAN (*BOLT*) PASANG YANG DAPAT DILEPAS. SAMBUNGAN (*BOLT*) DIRAPATKAN MENGGUNAKAN PIN PENGUNCI (*DOWEL PIN*) YANG SUDAH DITATA SECARA RAPI. HINGGA 18 BATANG *MEMBER* YANG DAPAT DISAMBUNGAN MELALUI SISTEM SAMBUNGAN INI SECARA SERAGAM. PABRIK DAPAT MENGHASILKAN SAMBUNGAN INI DENGAN BERBAGAI MACAM UKURAN DIAMETER DARI 46,5 - 350 MM, SISTEM SAMBUNGAN YANG TERPASANG MEMILIKI BENTANGAN BERKISAR ANTARA M12-M64 BATAS PENANGANAN GAYA MAKSIMUM 1413 kN. SUATU MODUL TIPIKAL UNTUK SISTEM MERO ADALAH LIMAS SEGIEMPAT (1/2 OKTAHEDRAL) YANG SALING DIHUBUNGAN DAN BATANG-BATANG DIAGONAL MEMILIKI PANJANG 'A' DENGAN KISARAN SUDUT 90° ATAU 60°. SEMENTARA, KEDALAMAN MODUL '1/2 A $\sqrt{2}$ '. DENGAN BENTANGAN SUDUT ANTARA BATANG DIAGONAL DAN SAMBUNGAN SEKITAR 54,7°.



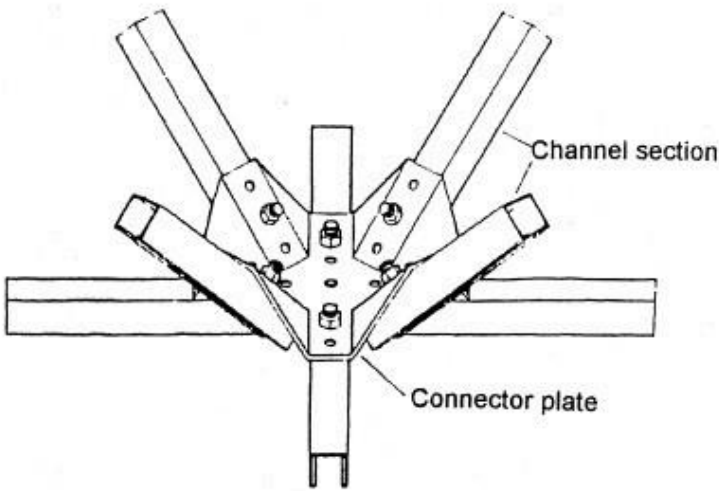
Gambar 3.1.14 Rangkaian Sistem Mero



Gambar 3.1.15 Dimensi Sistem Mero

SISTEM UNISTRUD

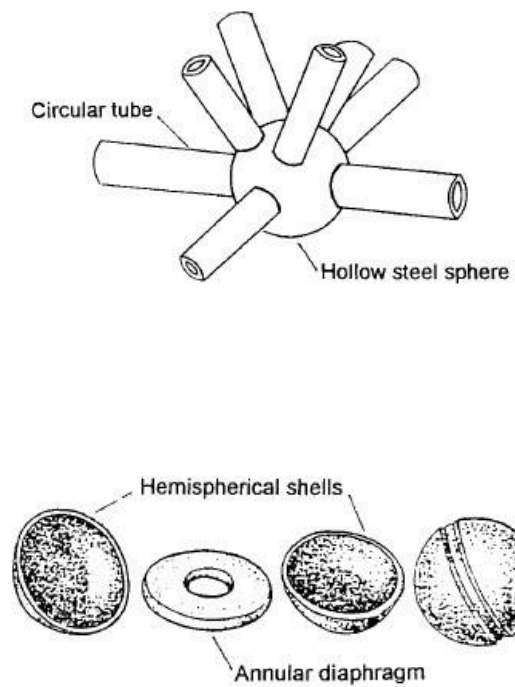
SISTEM UNISTRUD DIKEMBANGKAN DI AMERIKA SERIKAT PADA AWAL ABAD 15. SISTEM SAMBUNGAN INI TERDIRI DARI PLAT PENGHUBUNG YANG MERUPAKAN PLAT BAJA PRESS. BATANG-BATANG *MEMBER* MERUPAKAN POTONGAN BATANG YANG DIBUAT UNTUK FUNGSI LUBANG SALURAN DAN DIIKAT OLEH PLAT KONEKTOR DENGAN MENGGUNAKAN SAMBUNGAN TUNGGAL PADA MASING-MASING UJUNGNYA. PENGHUNG-PENGHUBUNG UNTUK LAPISAN PERMUKAAN ATAS DAN BAWAH IDENTIK (CENDERUNG SAMA) DAN OLEH KARENA ITU SISTEM UNISTRUD PADA SISTEM STRUKTUR *DOUBLE LAYER GRIDS* TERDIRI DARI HANYA EMPAT KOMPONEN. DENGAN KATA LAIN, TERDIRI ATAS PLAT KONEKTOR, *STRUD*, SAMBUNGAN (*BOLT*), DAN *NUT*. BENTANGAN MAKSIMAL UNTUK SISTEM INI SEKITAR 40 M DENGAN STANDAR MODUL 1,2 - 1,5 M. NAMA MODUSPAN JUGA MERUPAKAN SEBUTAN UNTUK SISTEM INI.



Gambar 3.1.16 Sistem sambungan Unistrud

SISTEM OKTAPLAT

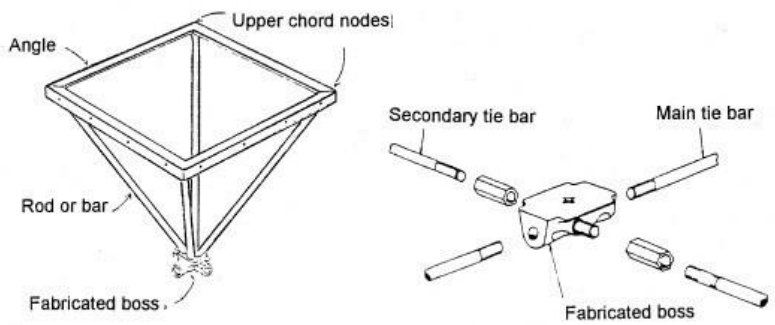
SISTEM OKTAPLAT MEMANFAATKAN MATERIAL BOLA BAJA *HOLLOW* DAN BATANG *MEMBER* SILINDER YANG DISAMBUNGAN DENGAN SISTEM LAS. TITIK SAMBUNG TERBENTUK DARI HASIL PENYAMBUNGAN LAS DUA CANGKANG SETENGAH BOLA SECARA BERSAMAAN YANG TERBUAT DARI PLAT BAHU BAIK MELALUI SISTEM PRESS PANAS, MAUPUN DINGIN. BOLA BAJA *HOLLOW* MUNGKIN DIPERKUAT DENGAN SEMACAM DIAFRAGMA TAHUNAN. JENIS SAMBUNGAN INI SANGAT POPULAR PADA AWAL PENGEMBANGAN STRUKTUR *SPACE-FRAME*. INI JUGA BERGUNA UNTUK STRUKTUR BENTANGAN LEBAR DI MANA SISTEM KEPEMILIKAN LAIN TERBATAS OLEH KAPASITAS PERKUATAN. BOLA *HOLLOW* DENGAN DIAMETER HINGGA 500 MM SUDAH DIGUNAKAN. INI DAPAT DITERAPKAN PADA SISTEM CANGKANG BERKISI-KISI DENGAN SATU LAPISAN PERMUKAAN SELAMA SISTEM SAMBUNGAN DAPAT DIPERTIMBANGKAN SEBAGAI SEMI ATAU BAHKAN SEPENUHNYA KAKU.



Gambar 3.1.17 Sistem Oktaplat

SISTEM SPACE DECK

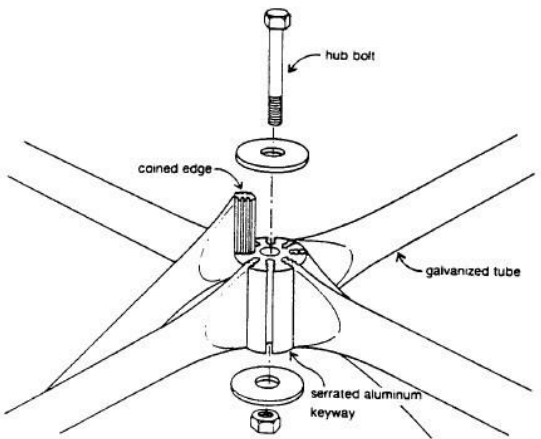
SISTEM SPACE DECK DIGUNAKAN PERTAMA KALI DI INGGRIS PADA AWAL ABAD 15, MENGGUNAKAN UNIT-UNIT LIMAS (BENTUK PIRAMIDA) YANG TERPABRIKASI DARI PRODUSENNYA. EMPAT DIAGONALNYA DIBUAT DARI TIANG TANGKAI ATAU BATANG YANG DIHUBUNGAN (DENGAN SISTEM LAS) PADA POJOK-POJOK DARI SUDUT RANGKANYA DAN DIHUBNGKAN PADA SUATU PADA BAGIAN YANG MENEMPATI PUNCAK STRUKTURNYA. HAL INI DIDASARKAN PADA UNIT LIMAS SEGIEMPAT. YANG MEMBENTUK SEBUAH KONFIGURASI SEGIEMPAT PADA BIDANG BUJURSANGKAR DARI *DOUBLE LAYER SPACE GRIDS*. UNIT-UNIT DIHUBUNGAN SECARA MEMBIDANG BERSAMAAN MELALUI RANGKA-RANGKA BERSUDUT. PUNCAK-PUNCAK DARI UNIT-UNITNYA DIHUBUNGAN DALAM LAPANGAN DENGAN MENGGUNAKAN BATANG-BATANG GANTUNG. PERMUKAAN-PERMUKAAN YANG MENONJOL DAPAT DICAPAI DENGAN MENGUBAH PANJANG BATANG-BATANG GANTUNG, SELAMA PENYUSUPAN PADA SISI KIRI DAN SISI KANAN DISEDIAAN OLEH BAGIAN-BAGIAN PUNCAK TERSEBUT. SISTEM SPACE DECK UMUMNYA DIGUNAKAN UNTUK BENTANGAN YANG LEBIH KURANG DARI 40 M DENGAN SUATU STANDAR MODUL DAN KEDALAMAN 1,2 M. SEBUAH KEDALAMAN STRUCTURAL MINIMUM PADA 0.75 M JUGA DITERAPKAN. UNTUK PEMBEBANAN DESAIN YANG LEBIH TINGGI DAN BENTANGAN YANG LEBIH BESAR, MODUL ALTERNATIF PRODUKSI BERKISAR ANTARA 1,5 M DAN 2,0 M DENGAN KEDALAMAN YANG SAMA DENGAN MODUL.



Gambar 3.1.18 Sistem Sambungan Space Deck

SISTEM TRIODETIK

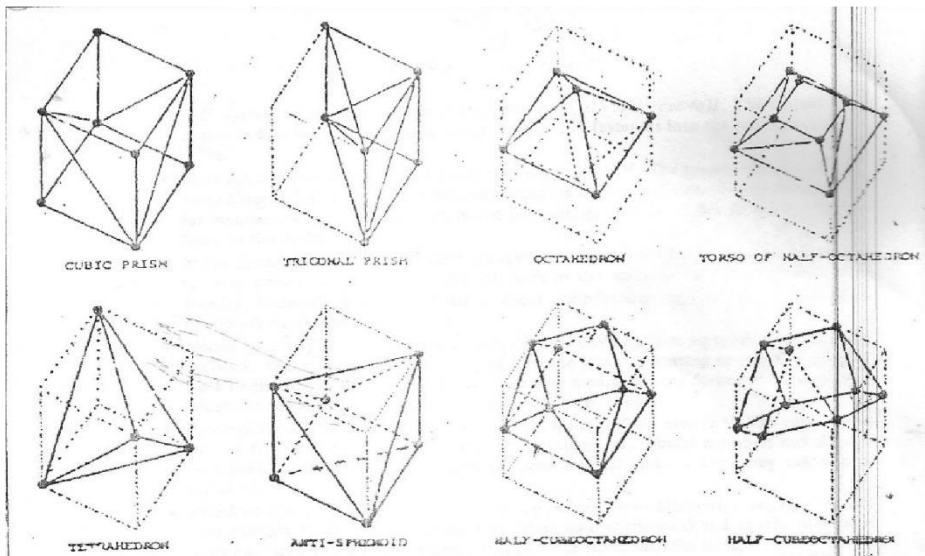
TRIODETIK MERUPAKAN SISTEM SAMBUNGAN *SPACE-FRAME* YANG BERKEMBANG DI KANADA, TERDIRI DARI SEBUAH PUSAT KONEKTOR ALUMINIUM YANG DIBENTANGKAN DENGAN KUNCI PENYAMBUNG (*HUB*) YANG TAJAM. TIAPTIAP UJUNG *MEMBER* DIPRESS DENGAN TUJUAN UNTUK MEMBENTUK SUATU PINGGIRAN BERBENTUK KOIN YANG COCOK UNTUK DIHUBUNGAN DENGAN KUNCI PENYAMBUNGNYA. SAMBUNGAN INI SELESAI KETIKA SELURUH BATANG *MEMBER* SUDAH DIMASUKKAN PADA PUSAT KONEKTOR (*HUB*), *WASHER* DILETAKKAN PADA TIAP-TIAP UJUNG DARI PUSAT KONEKTOR (*HUB*), DAN SEBUAH BAUT DITANCAPKAN PADA PUSAT KONEKTOR (*HUB*). SISTEM PENYAMBUNGAN TRIODETIK DAPAT DIGUNAKAN PADA SUATU STRUKTUR *SPACE-FRAME* YANG MERUANG (3 DIMENSI). MURNINYA, HANYA STRUKTUR ALUMINIUM YANG DIPAKAI DALAM SISTEM INI, TETAPI NANTINYA *SPACE-FRAME* AKAN DILURUSKAN MENGGUNAKAN TABUNG BAJA YANG DIGALVANISASIKAN DAN PENGHUBUNG ALUMINIUM (*ALUMINIUM HUB*). SISTEM *DOUBLE LAYER GRIDS* YANG MENGGUNAKAN SAMBUNGAN TRIODETIK SUDAH PERNAH DIGUNAKAN PADA BANGUNAN DENGAN BENTANGAN HINGGA 33 M. MODUL DASARNYA HAMPIR DAPAT DITERAPKAN HINGGA 2,7 M. KEDALAMAN PERMUKAAN UMUMNYA 70% DARI UKURAN MODUL.



Gambar 3.1.19 Sistem Sambungan Triodetik

RAGAM BENTUK PENGEMBANGAN STRUKTUR SPACE-FRAME

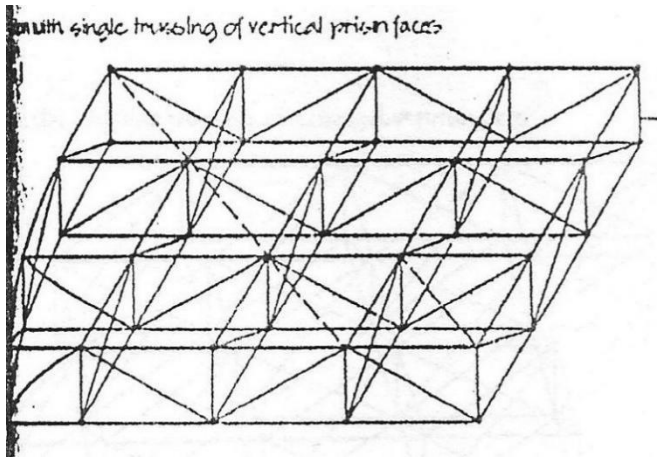
SISTEM SPACE FRAME SEPERTI YANG DIPAPARKAN PADA BAGIAN-BAGIAN SEBELUMNYA MERUPAKAN SISTEM STRUKTUR FRAMING YANG DAPAT DIKEMBANGKAN HINGGA KE BENTUK-BENTUK YANG SANGAT DINAMIS. NAMUN, SEBELUM MENCAPAI TAHAPAN TERSEBUT, TENTUNYA SPACE-FRAME PERLU DIKEMBANGKAN MENJADI SALAH SATU DARI BEBERAPA ‘BENTUK-BENTUK PENGEMBANGAN DASAR’ SISTEM STRUKTUR INI. BENTUK-BENTUK PENGEMBANGAN DASAR YANG DIMAKSUD, ANTARA LAIN :



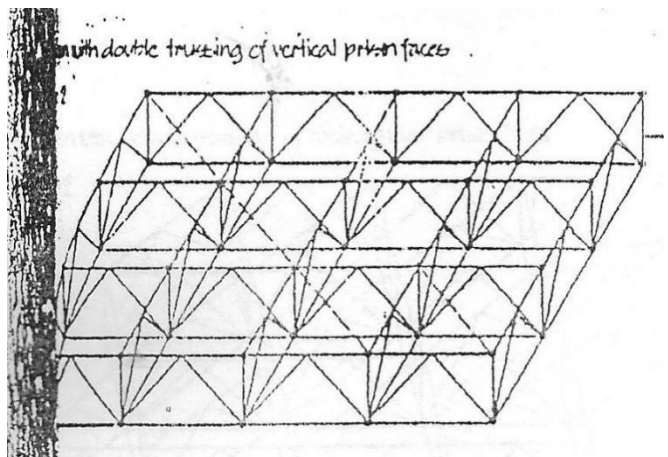
Gambar 3.1.20 Bentuk-bentuk dasar yang memelopori pengembangan Space-Frame

1. SPACE FRAME YANG TERSUSUN ATAS PRISMA-PRISMA SEGIEMPAT

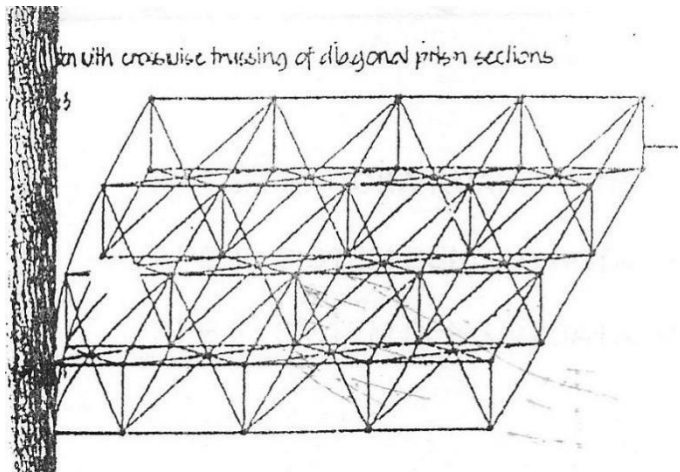
A) SISTEM BATANG TUNGGAL PADA BIDANG-BIDANG VERTIKAL PRISMA



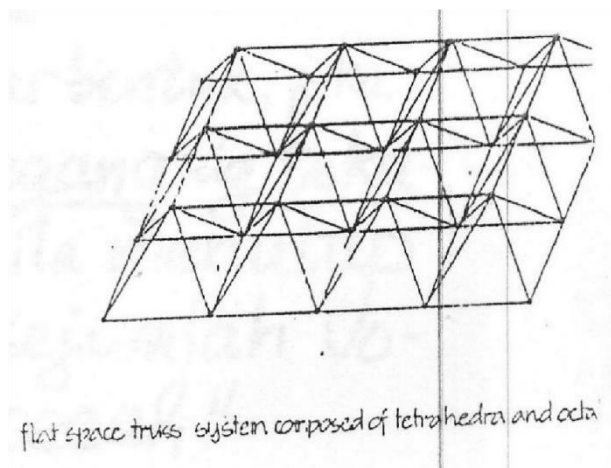
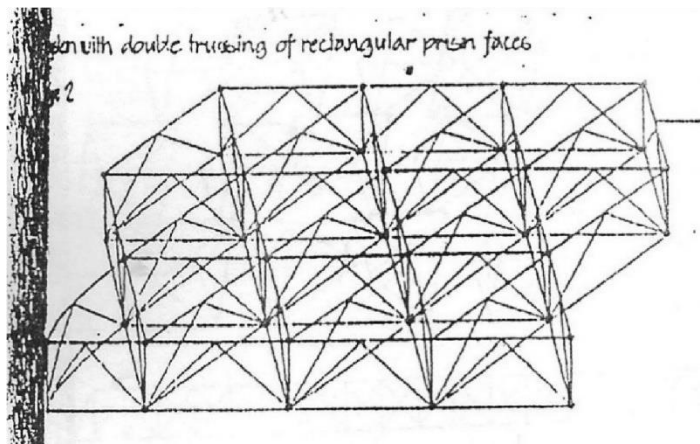
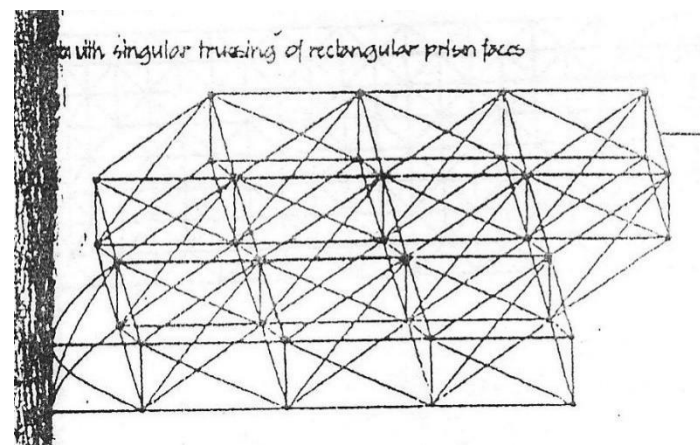
B) SISTEM BATANG GANDA PADA BIDANG-BIDANG VERTIKAL PRISMA



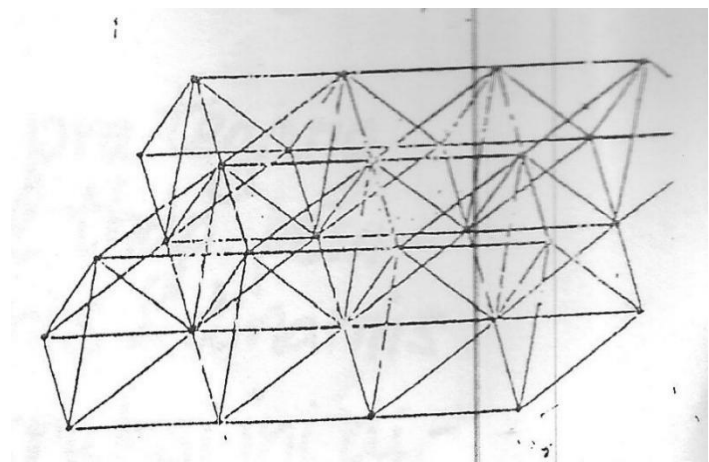
C) SISTEM BATANG DIAGONAL PADA BIDANG-BIDANG VERTIKAL PRISMA



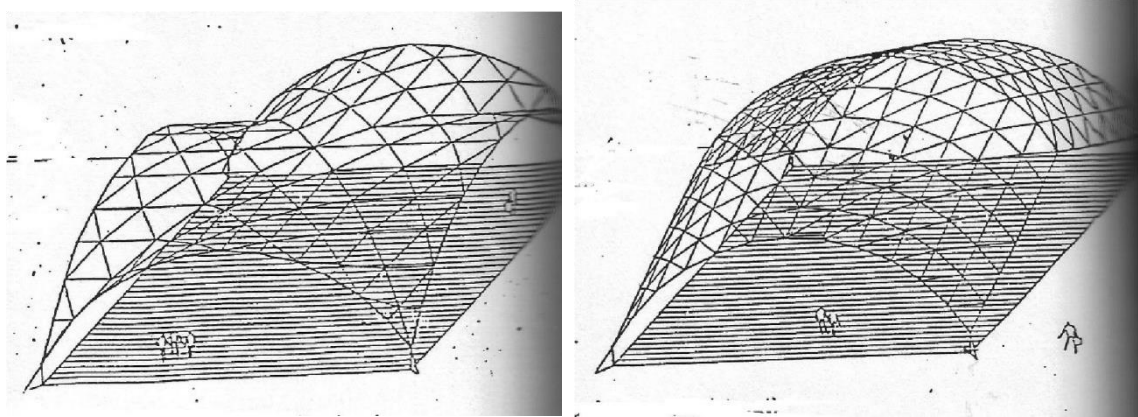
3. SPACE FRAME YANG TERSUSUN ATAS PRISMA-PRISMA SEGITIGA



2. SPACE FRAME YANG TERSUSUN ATAS TETRAHEDRAL DAN OCTAHEDRAL



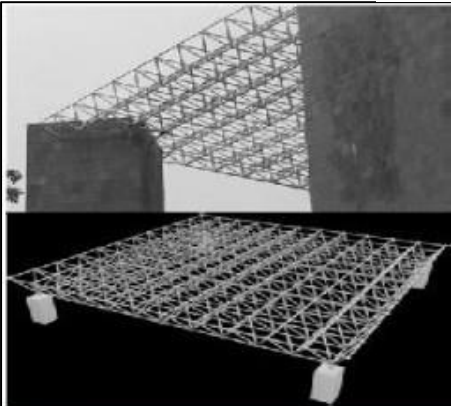
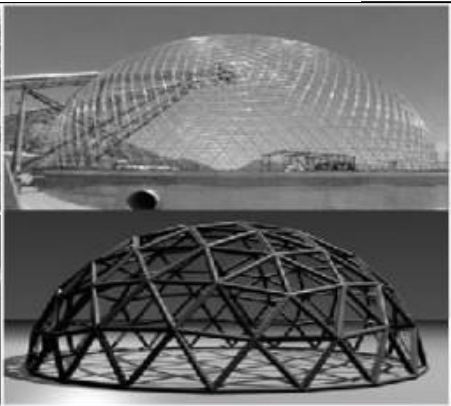
SEHINGGA, DARI PENGEMBANGAN-PENGEMBANGAN DASAR MENJADI KOMPOSISI-KOMPOSISI YANG ADA DIATAS, SPACE-FRAME DAPAT TERBENTUK MENJADI BENTUK-BENTUK YANG LEBIH DINAMIS. SALAH SATU CONTOH PENGEMBANGANNYA DAPAT DILIHAT PADA GAMBAR-GAMBAR BERIKUT.



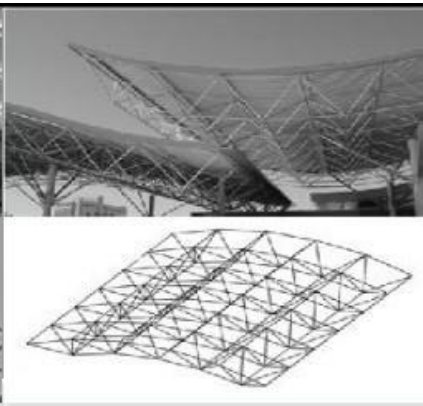
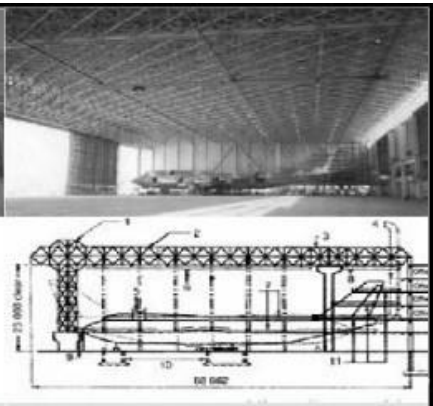
Gambar 3.1.21 Contoh pengembangan Dinamis Space-frame

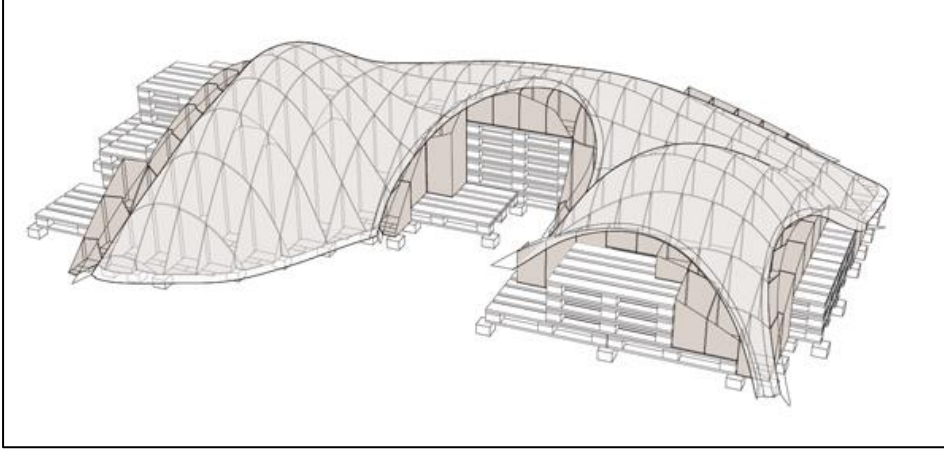
DENGAN ADANYA BENTUK-BENTUK SEPerti GAMBAR DI ATAS, MAKA AKAN BANYAK BANGUNAN YANG MEMUNGKINKAN UNTUK DIBANGUN DENGAN TINGKAT ESTETIKA YANG TINGGI YANG DAPAT DIDUKUNG OLEH SISTEM SPACE-FRAME SEBAGAI SISTEM STRUKTUR PEMBERI BENTANGAN LEBAR PADA BANGUNAN TERSEBUT. SELAIN ITU, TERDAPAT BEBERAPA PENGELOMPOKKAN SPACE-FRAME BERDASARKAN ASPEKASPEK TERTENTU YANG DITINJAU DALAM BENTUKAN YANG DIHASILKAN, YANG DAPAT DILIHAT MELALUI JENIS-JENIS SPACE FRAME BERIKUT INI.

Tabel 3.2.1 Penggolongan Space-Frame Jumlah Permukaannya

		
1) FLAT COVER	2) BARREL VAULTS	3) SPHERICAL DOMES
Hasil gubahan dari struktur planar. Bidanganya disusun melalui batang horizontal dan gaya lateralnya disokong oleh batang diagonal	Jenis space-frame yang memiliki potongan diagonal dari suatu lengkungan sederhana. Sehingga, tidak membutuhkan modul tetrahedral atau piramid sebagai bagian pendukungnya.	Bentuk kubah ini membutuhkan modul tetrahedral atau piramid disertai dukungan tambahan dari struktur membran (kulit)

Tabel 3.2.2 Penggolongan Space-Frame berdasarkan tingkat kelengkungan

		
1) SINGLE LAYER	2) DOUBLE-LAYER	3) TRIPLE LAYER
Seluruh elemen disusun dalam satu permukaan	Setiap elemen dikelompokkan dalam dua lapisan (bidang) paralel dengan nilai jarak antarlapisan tertentu. Batang diagonal menghubungkan titik-titik dari kedua lapisan dengan arah berbeda.	Setiap elemen ditempatkan dalam tiga lapisan paralel, yang dihubungkan batang diagonal. Keseluruhannya nyaris datar. Sistem ini sebagai solusi untuk mengurangi panjang batang diagonal.



SPACE-FRAME BUKAN HANYA DIGUNAKAN UNTUK STRUKTUR ATAP DENGAN RENTANGAN YANG PANJANG, NAMUN JUGA UNTUK STRUKTUR ATAP DENGAN RENTANGAN YANG SEDANG, MAUPUN PENDEK. JUGA, DAPAT DITERAPKAN PADA STRUKTUR LANTAI DAN DINDING EKSTERIOR. PENGGUNAAN SISTEM *SPACE-FRAME* SEBAGAI STRUKTUR ATAP DAPAT BERFUNGSI SEBAGAI:

- KANOPI
- *SKYLIGHT*
- KUBAH TEMPAT IBADAH
- HANGAR, DLL

SESUAI DENGAN FUNGSI-FUNGSI PERUNTUKAN DARI PENERAPAN SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME* TERSEBUT, MAKA DAPAT DITEMUI BEBERAPA BANGUNAN YANG MENJADI CONTOH DARI PENERAPAN NYATA *SPACE-FRAME* SEBAGAI SISTEM STRUKTUR PILIHAN DALAM KONSTRUKSI-KONSTRUKSI NYATA BANGUNAN-BANGUNAN BENTANG LEBAR.

STRUKTUR RANGKA SPACE FRAME ADALAH SISTEM YANG TERDIRI DARI BEBERAPA ELEMEN STRUKTUR YAITU SAMBUNGAN, PIPA BESI, BOLA BAJA, KONEKTOR, BAUT, DAN PELAT SUPPORT. BERIKUT INI PENJELASAN DARI BEBERAPA ELEMEN SISTEM SPACE FRAME.

1. SAMBUNGAN

BEBERAPA PERSYARATAN YANG HARUS DIIKUTI AGAR SAMBUNGAN RANGKA SPACE FRAME LEBIH KUAT DI ANTARANYA ADALAH

- PENGIKAT SAMBUNGAN BAJA KE BUKAN BAJA HARUS TERBUAT DARI BAJA KARBON YANG MEMENUHI PERSYARATAN ASTM A370
- PENGIKAT SAMBUNGAN LOGAM YANG BERLAINAN HARUS TERBUAT DARI BAJA TAHAN KOROSI YANG MEMENUHI PERSYARATAN ASTM A276 TYPE 321 ATAU TIPE-TIPE LAIN DARI BAJA TAHAN KOROSI.
- PENGIKAT SAMBUNGAN DARI BAJA KE BAJA HARUS TERBUAT DARI BAJA KARBON YANG MEMENUHI PERSYARATAN ASTM A325 ATAU ASTM A490.
- BAHAN-BAHAN LAS HARUS MEMENUHI PERSYARATAN DARI *AMERICAN WELDING SOCIETY AWS D1.069 CODE FOR WELDING IN BUILDING CONSTRUCTION* DAN PENGELASAN HARUS DILAKUKAN OLEH TENAGA AHLI LAS YANG MEMILIKI SERTIFIKAT 3G.
- BAUT-BAUT ANGKUR DAN SEKRUP-SEKRUP HARUS MEMENUHI PERSYARATAN ASTM A36 ATAU A325
- BAUT DAN MUR YANG TIDAK DIBERI FINISHING HARUS MEMENUHI ASTM A307 DAN BERBENTUK SEGI ENAM (HEXAGON BOLT TYPE).
- BAJA BERLAPIS SENG HARUS MEMENUHI ASTM A123 DAN LAPISAN SENG UNTUK PRODUKSI ULIRAN SEKRUP HARUS MEMENUHI ASTM A153

PENERAPAN SPACE-FRAME DALAM KONSTRUKSI NYATA

2. PIPA

PIPA SPACE FRAME YANG DIGUNAKAN HARUS MEMENUHI SYARAT SEBAGAI BERIKUT

- MATERIAL BAJA JIS G3444 STK400 DENGAN TEGANGAN LELEH 235 N/MM² ATAU BS1387 DENGAN TEGANGAN LELEH 195 N/MM²
- DIAMETER PIPA : 1,25" - 12"
- PANJANG SESUAI DENGAN DESAIN SPACE FRAME
- FINISHING : SAND BLASTING DAN CAT.

3. BOLA BAJA

BOLA BAJA SPACE FRAME YANG DIGUNAKAN HARUS MEMENUHI SYARAT SEBAGAI BERIKUT

- MATERIAL BAJA MEMPUNYAI SPESIFIKASI JIS G4051 S45C ATAU AISI 1045 DENGAN TEGANGAN LELEH 380 N/MM²
- PEMBUATAN LUBANG DILAKUKAN DENGAN MENGGUNAKAN MESIN CNC SEHINGGA DIHASILKAN AKURASI DENGAN TOLERANSI UKURAN DI BAWAH DIAMETER 0,1 MM DAN TINGKAT AKURASI SUDUT LUBANG 0,2 DERAJAT.
- DIAMETER BOLA ANTARA 49 MM S/D 307 MM BERVARIASI DISESUAIKAN DENGAN DESAIN.
- FINISHING DARI BOLA ADALAH ELEKTRO GALVANIS TEBAL LAPISAN ZINC 25 MIKRON (DIN 40961) DAN CAT

4. KONEKTOR

KONEKTOR SPACE FRAME YANG DIGUNAKAN HARUS MEMENUHI SYARAT SEBAGAI BERIKUT

- MATERIAL BAJA MEMPUNYAI SPESIFIKASI JIS G4051 S45C ATAU AISI 1045 DENGAN TEGANGAN LELEH 420 N/MM²
- DIKERJAKAN DENGAN MENGGUNAKAN MESIN BOR CNC (LATHE DAN 2-SPINDLE DRILLING MACHINE) DAN MESIN TAP
- BENTUK KONEKTOR "BOTTLE SYSTEM" DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN MESIN FORGING
- UKURAN B032 SAMPAI B166
- FINISHING ELEKTRO GALVANIS TEBAL LAPISAN ZINC 25 MIKRON (DIN 50961) DAN CAT

5. BAUT

BAUT UNTUK SPACE FRAME YANG DIGUNAKAN HARUS MEMENUHI SYARAT SEBAGAI BERIKUT

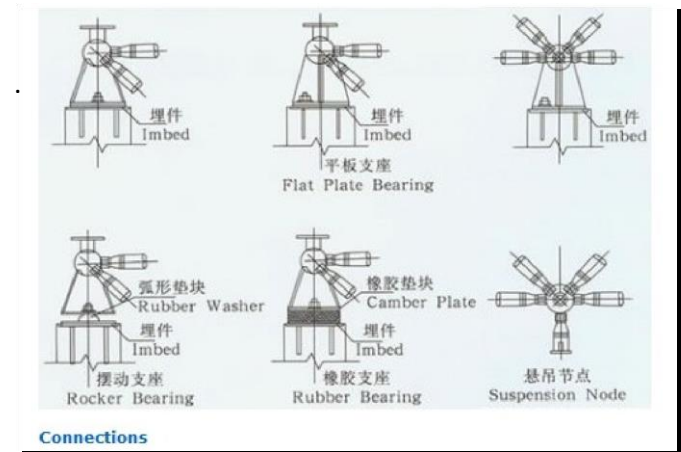
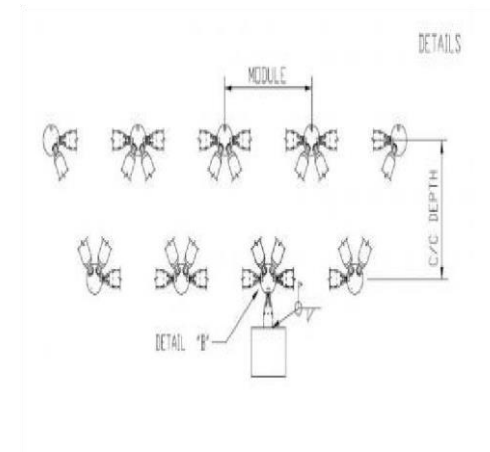
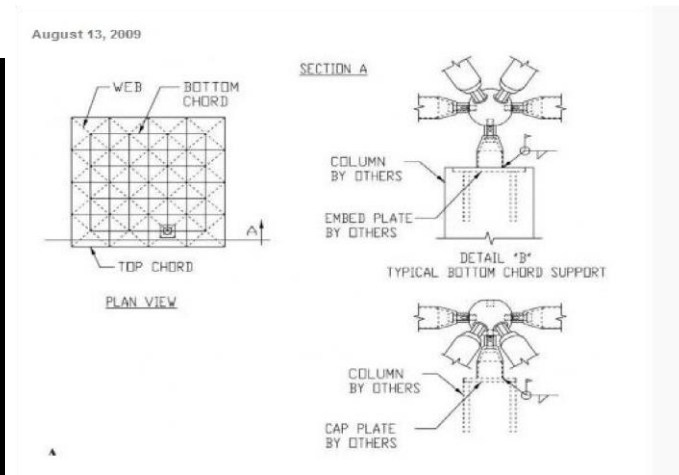
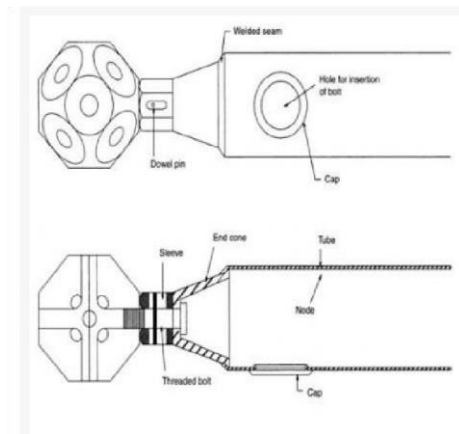
- MATERIAL BAJA GARDE 8.8 DENGAN TEGANGAN LELEH 450 N/MM²
- UKURAN SESUAI DENGAN DESAIN
- BAUT YANG DIGUNAKAN HARUS KUAT MENAHAN BEBAN DAN GAYA YANG TIMBUL DAN DIKHUSUSKAN UNTUK MENAHAN BEBAPN BERAT (HEAVY DUTY FASTENING/ ANCHOR)
- FINISHING ELEKTRO GALVANIS TEBAL LAPISAN ZINC 25 MIKRON (DIN 50961)

6. PELAT SUPPORT

PELAT SUPPORT UNTUK SPACE FRAME YANG DIGUNAKAN HARUS MEMENUHI SYARAT SEBAGAI BERIKUT

- MATERIAL BAJA LOW CARBON STEEL JIS G3101 SS400 ATAU AISI 1021 DENGAN TITIK LELEH 240 N/MM²
- DIMENSI DISESUAIKAN DENGAN DESAIN
- DIBENTUK DENGAN MENGGUNAKAN MESIN BUBUT CNC, TINGKAT AKURASI BERTOLERANSI 0,1 MM DI SEMUA DIMENSI
- FINISHING ELEKTRO GALVANIS TEBAL LAPISAN ZINC 25 MIKRON (DIN 50961)

Detail Dan macam-macam Konstruksi sambungannya.



ITULAH BEBERAPA ELEMEN YANG MENYUSUN STRUKTUR RANGKA SPACE FRAME. SPACE FRAME BANYAK DIAPLIKASIKAN PADA BANGUNAN PABRIK, KANOPI, GEDUNG OLAH RAGA, GEDUNG SERBA GUNA, KUBAH MASJID DAN SEBAGAINYA.

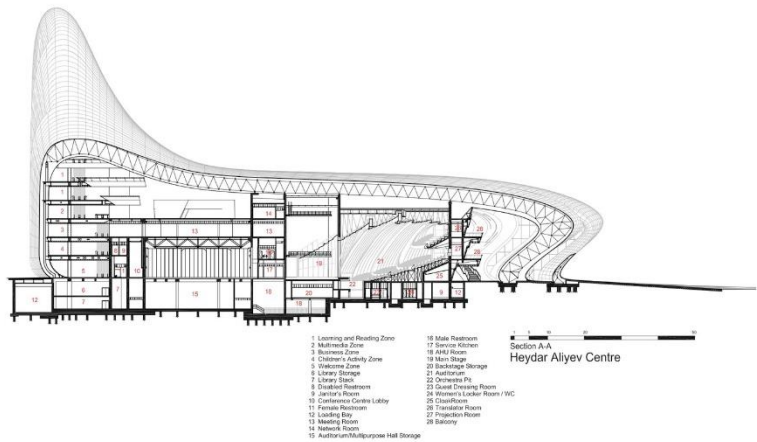
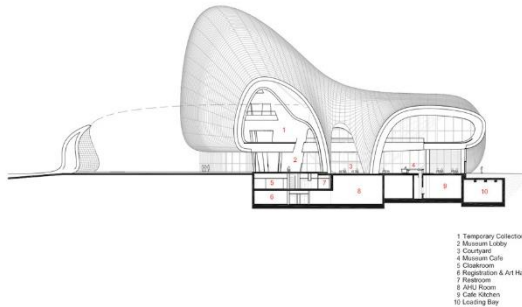
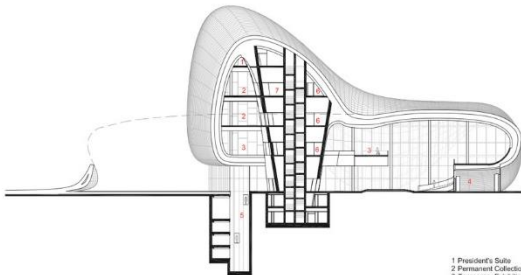
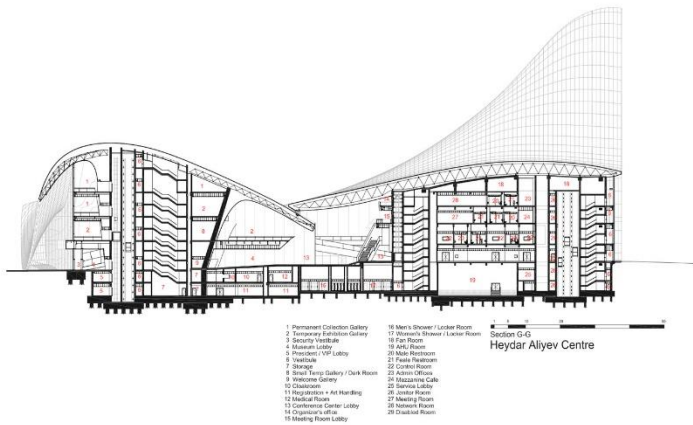
HEYDAR ALIYEV CENTER



Architect : Zaha Hadid

Location : Baku, [Azerbaijan](#)

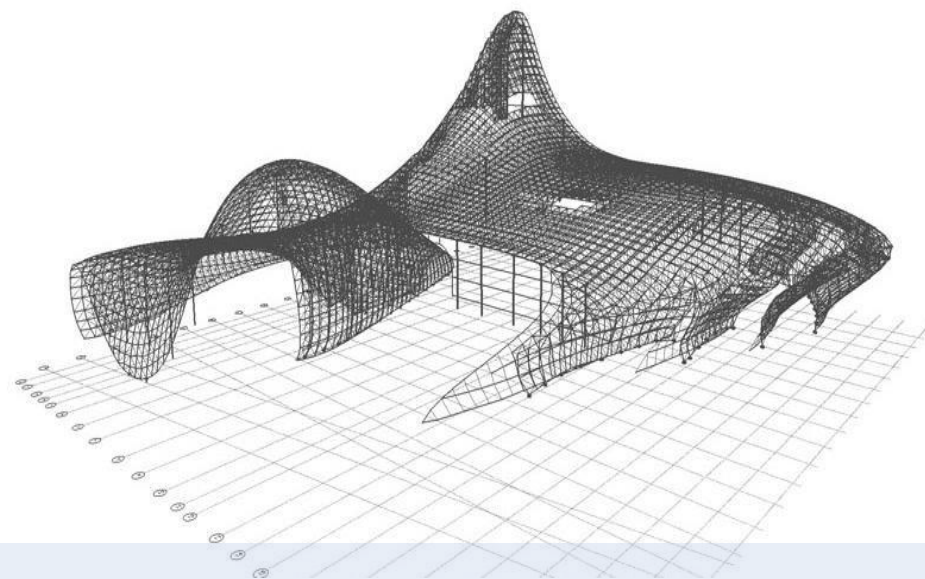
BANGUNAN INI MEMILIKI FUNGSI SEBAGAI GALLERY HALL DAN MUSEUM (PAMERAN BUDAYA). BANGUNAN INI DIRANCANG OLEH ZAHA HADID. BENTUK BANGUNAN INI DIBENTUK OLEH SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME* YANG MEMBUAT BAGIAN-BAGIAN DINDING BANGUNAN INI TERHUBUNG DAN SATU DENGAN ATAPNYA. STRUKTUR *SPACE-FRAME* INI DITUTUPI OLEH PERMUKAAN BERUPA SEMACAM STRUKTUR SHELL.





SEBAGAI STRUKTUR ATAP TERMASUK KEDALAM TIPE FREE FORM KARENA BENTUKNYA YANG TIDAK BERATURAN (MENGALIR) DIDOMINASI OLEH BIDANG DOUBLE LAYER NAMUN TERDAPAT BEBERAPA BIDANG SINGLE LAYER DIBEBERAPA TITIK SITE MERUPAKAN AREA RAWAN GEMPA, KOLOM TERLETAK DI SEPANJANG TEPI BANGUNAN (PERIMETER), DUKUNGAN TERHADAP STRUKTUR RANGKA RUANG LANGSUNG DIALIRKAN KE KOLOM DAN DITERUSKAN KE PONDASI RAKIT. OLEH KARENA ITU SPACE FRAME BISA DIKATAKAN STRUKTUR YANG TAHAN GEMPA, KARENA GAYA GAYA PADA BANGUNAN DIALIRKAN MELALUI SISTEM JOIN NYA YANG SANGAT BANYAK MENERUS KE KOLOM HINGGA KE PONDASI DAN UKURAN MODUL DARI GRID HARUS DICOCOKKAN DENGAN PEMBERIAN SPASI KOLOM DETAIL STRUKTUR SPACE FRAMENYA MENGGUNAKAN NODE MERO KK SYSTEM DENGAN DIAMETER ANTARA 110 - 350MM, DAN BISA MEMUAT STRUKTUR BATANG HINGGA KE 16 ARAH YANG BERBEDA, UNTUK RANGKA BATANGNYA SENDIRI MENGGUNAKAN BENTUK LINGKARAN DENGAN DIAMETER BERKISAR ANTARA 60 - 273MM YANG SUDAH DIFABRIKASI DARI PABRIK, DENGAN PANJANG 4.5M. SEMUA RANGKA SPACE FRAMENYA DIRAKIT LANGSUNG DI SITE TANPA PENGELASAN. PADA BEBERAPA TITIK STRUKTUR SPACE FRAMENYA DIPERTEBAL UNTUK AGAR BISA MENAHAN MOMEN LENTUR.

STRUKTUR UTAMA BANGUNAN INI MENGGUNAKAN PERPADUAN DARI BETON BERTULANG, STRUKTUR RANGKA BAJA DAN BALOK KOMPOSIT DAN DEK. SPACE FRAMENYA SENDIRI TERDIRI DARI SISTEM SAMBUNGAN TABUNG BAJA KHUSUS. LOKASI BANGUNAN INI DEKAT DENGAN PABRIK PENGOLAHAN MINYAK SEHINGGA MEMILIKI POLUSI UDARA YANG CUKUP BERAT DAN SEMENTARA ITU DESAIN CLADDING MENGGUNAKAN WARNA PUTIH, KARENA ITU MEREKA MEMFOKUSKAN PADA MATERIAL YANG MUDAH DI BERSIHKAN. MAKA DARI ITU, MEREKA MEMUTUSKAN UNTUK MENGGUNAKAN GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC (GFRP) DAN GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE (GFRC). MATERIAL YANG TAHAN DEBU, TAHAN LAMA DAN RENDAH PERAWATAN.

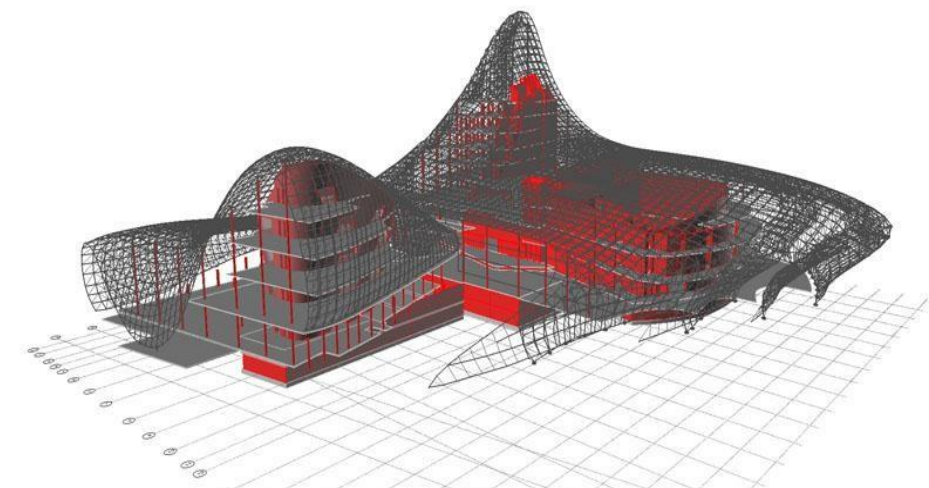


GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC (GFRP) DAN GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE (GFRC)

GFRP ADALAH MATERIAL KOMPOSIT YANG TERBUAT DARI POLIMEPLASTIK DIPERKUAT DENGAN SERAT KACA. GPRF INI UMUMNYA DIGUNAKAN DALAM CLADDING PESAWAT, OTOMOTIF KELAUTAN DAN INDUSTRIKONSTRUKSI.

SEDANGKAN GFRC ADALAH POLIMER BETON DIPERKUAT DENGAN SERAT KACA. DALAM KONTEKS STRUKTUR BANGUNAN, MATERIA INI DIBUAT DALAM BENTUK PANEL. PANEL-PANEL INI TERBUAT DARI LAPISAN BETON SEMEN PUTIH DENGAN BUTIRAN HALUS, DIPERKUAT DENGAN ALAS SERAT KACA. SETIAP PANEL BISA DI CETAK SECARA INDIVIDUAL KE DALAM BENTUK LENGKUNGAN SESUAI KEINGINAN. SANGAT TAHAN LAMA DAN MERUPAKAN MATERIAL RESITIF, BISA DIBUAT SETIPIS MUNGKIN HINGGA BEBERAPA MM ATAU BEBERAPA CM SEHINGGA PANEL INI BISA DIGUNAKAN UNTUK SISTEM KONSTRUKSI YANG RINGAN.

GFRC ADALAH BETON DIMANA TIDAK DIBUTUHKANNYA TULANGAN BAJA SEHINGGA TERHINDAR DARI MASALAH KOROSIF DARI BAJA ITU SENDIRI.





STASIUN TGV

STASIUN INI TERLETAK DI LYON, PRANCIS. STASIUN INI BERFUNGSI SEBAGAI TRANSIT PEMBERHENTIAN KERETA API. BANGUNAN INI MERUPAKAN KARYA DARI SANTIAGO CALATRAVA. BANGUNAN INI MENGAMBIL METAFORA DARI BENTUK PARUH BURUNG. NAMUN, UNTUK MEMBUAT BENTUK INI DENGAN JARAK BENTANGAN YANG LEBAR MEMBUUTUHKAN DESAIN DENGAN KERUMITAN YANG SANGAT TINGGI. RANGKA BANGUNAN INI MENGGUNAKAN SISTEM *SPACE-FRAME* SEBAGAI PEMBERI BENTUK DARI PARUH BURUNG, LALU DILAPISI PERMUKAAN SEMACAM STRUKTUR SHELL. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.

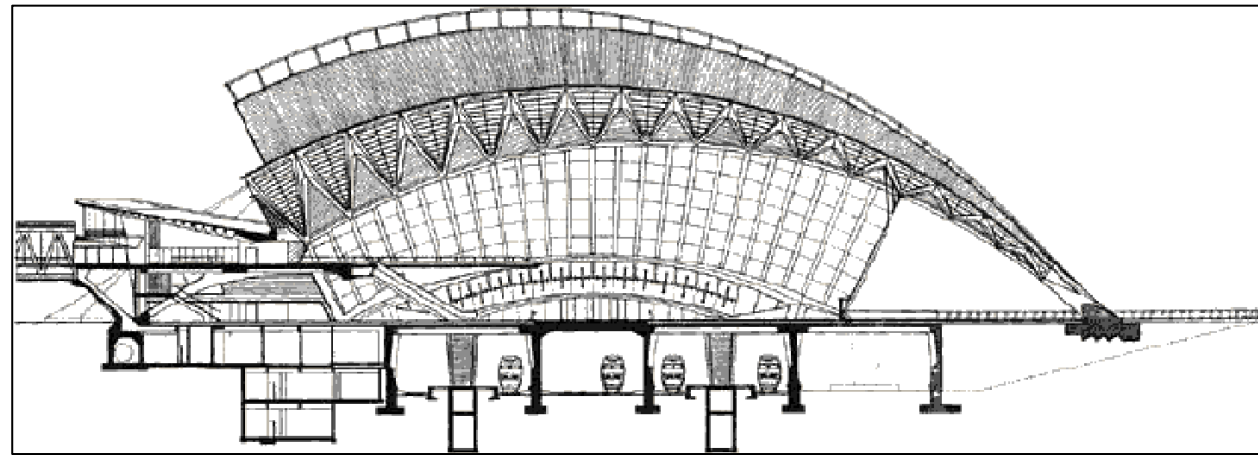


Figure | Struktur Stasiun TGV Lyon



RIVERSIDE MUSEUM

RIVERSIDE MUSEUM ADALAH BANGUNAN MUSEUM UNTUK PAMERAN KEBUDAYAAN YANG TERLETAK DI GLASGOW, INGGRIS. MUSEUM INI MERUPAKAN KARYA DARI ZAHA HADID. JIKA DILIHAT SEJENAK (TERUTAMA DARI ATAS), TEPAT BAHWA INI MERUPAKAN PENERAPAN STRUKTUR LIPAT. NAMUN, ATAP STRUKTUR LIPAT INI DIBENTUK DAN DIPERKUAT OLEH ADANYA *SPACE-FRAME*. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.

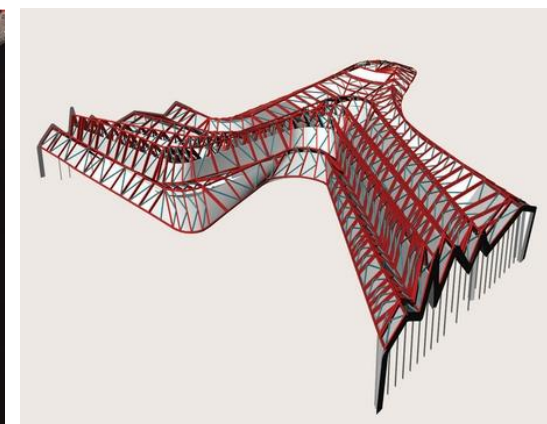
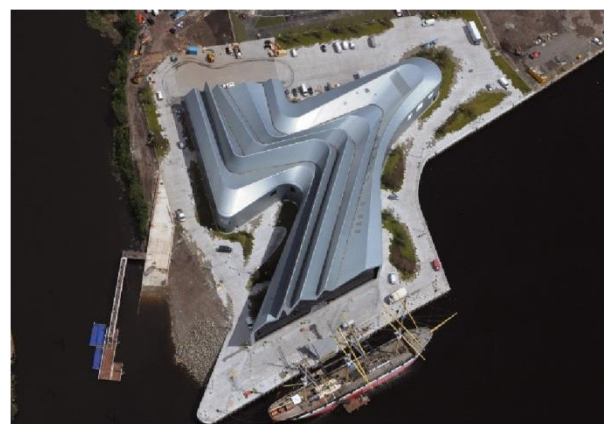
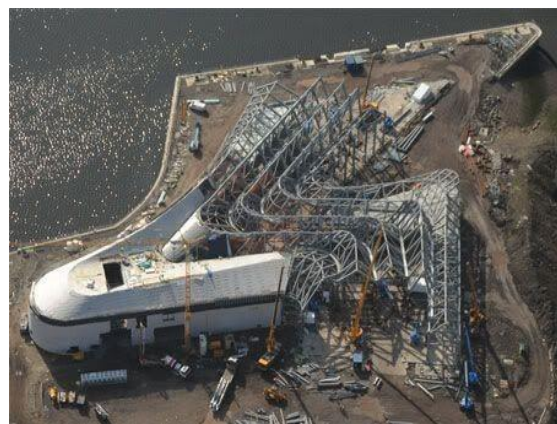


Figure | Struktur Riverside Museum



OLD TRAFFORD STADIUM

STADIUM SEPAKBOLA INI TERLETAK DI MANCHESTER, INGGRIS. STADIUM SEPAK BOLA INI MERUPAKAN KARYA DARI ARCHIBALD LEITCH, SEORANG ARSITEK ASAL SKOTLANDIA. STRUKTUR STADIUM SEPAKBOLA POPULAR INI SANGAT NAMPAK JELAS MENGGUNAKAN STRUKTUR *SPACE-FRAME*. HAL INI TERLIHAT DARI STRUKTUR *SPACEFRAME* YANG BATANG-BATANG *MEMBER* YANG TEREKSPOS YANG MENGGUNAKAN KACA SEBAGAI MATERIAL PERMUKAAN PENGISI ATAPNYA. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.

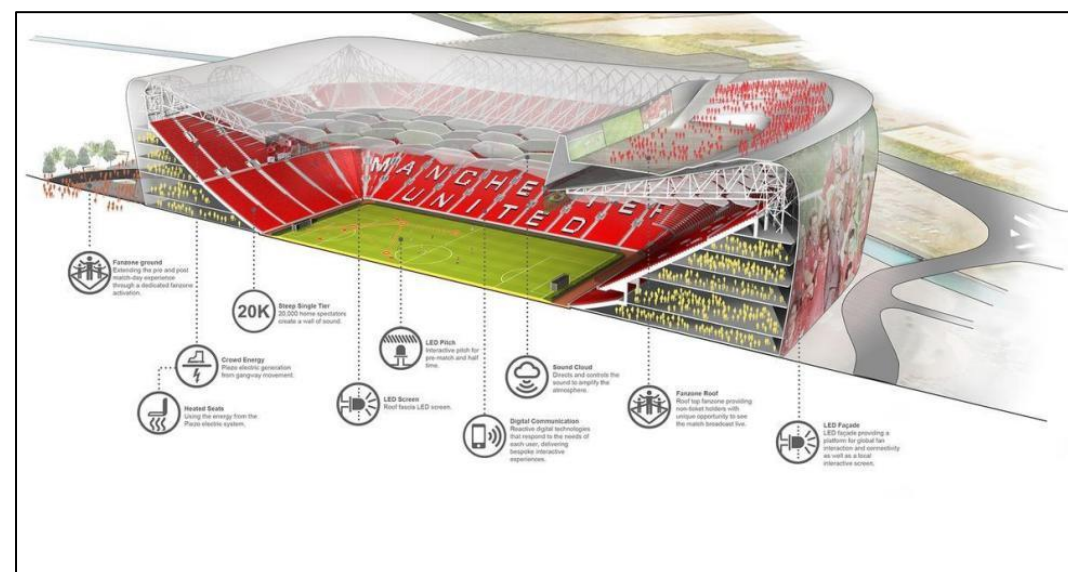


Figure | Struktur Old Traffod Stadium



LONDON AQUATIC CENTER

STADIUM RENANG POPULAR INI KHUSUS DIDIRIKAN SEBAGAI ARENA RENANG PESERTA OLIMPIADE 2012 DI LONDON. KARYA ZAHA HADID SATU INI JUGA MENGGUNAKAN SISTEM STRUKTUR *SPACE-FRAME*. ATAP BANGUNAN INI DIPERKUAT OLEH *SPACE-FRAME*, DI MANA SEBAGIAN PERMUKAANNYA DIISI OLEH KACA, SEBAGIAN MENGGUNAKAN KONSTRUKSI BETON POLIMER. UNTUK LEBIH JELASNYA, PERHATIKAN GAMBAR BERIKUT INI.

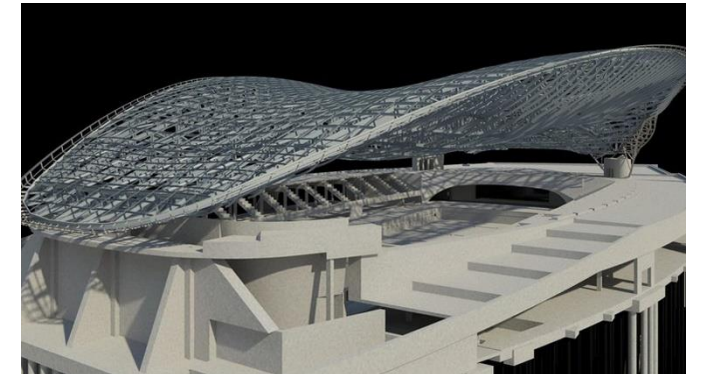
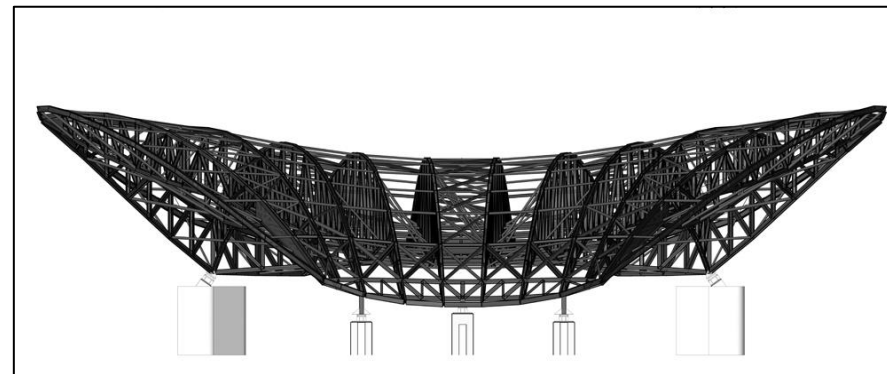


Figure | Struktur London Aquatic Center

ONLINE SOURCE

- https://en.wikipedia.org/wiki/Space_frame
- <https://www.scribd.com/document/377240120/Space-frame>
- <http://www.jasasipil.com/2015/10/pengertian-struktur-rangka-space-frame.html>
- <https://www.slideshare.net/rebunadi/struktur-rangka-ruang-space-frame>
- https://www.academia.edu/33309697/SISTEM_STRUKTUR_RANGKA_RUANG_SPACE_FRAME_PENGERTIAN_SPACE_FRAME_STRUKTUR
- <https://www.scribd.com/presentation/326454786/Heydar-Aliyev-Cultural-Center>
- <https://dokumen.tips/documents/struktur-bangunan-bergaya-organik.html>
- https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_stasiun_TGV
- https://id.wikipedia.org/wiki/Old_Trafford
- https://en.wikipedia.org/wiki/Riverside_Museum

